Ing. VICTOR POPESCU
Profesor universitar emerit

CONSTRUCȚII METALICE INDUSTRIALE

Ediția a treia

EDITURA TEHNICĂ
București — 1977

În prezenta lucrare, revăzută, s-au introdus unele capitole noi și sînt tratate diferite probleme care interesează în mod deosebit astăzi practica construcțiilor metalice. Se face o analiză dezvoltată a situațiilor în care o construcție industrială este rațional să se execute din beton armat, din metal sau din beton armat și metal; la baza acestei analize stau considerații de ordin tehnic, de exploatare, de consum de metal și de cost.

Este analizată de asemenea importanța pregătirii și experienței inginerului constructor pentru asigurarea gradului de siguranță necesar construcțiilor metalice.

Sînt tratate dezvoltat construcțiile industriale mixte, din metal și beton armat și construcțiile metalice industriale cu etaje; s-a introdus un capitol privind construcțiile metalice ale preîncălzitoarelor de aer utilizate în siderurgie.

S-a dat o dezvoltare mai mare capitolelor referitoare la întreținerea, repararea și consolidarea construcțiilor metalice; sînt prevăzute avantajele și posibilitățile pe care le oferă luarea în considerare a deformațiilor plastice la stabilirea necesităților de consolidare și la alegerea soluțiilor de consolidare.

Lucrarea se adresează inginerilor constructori din proiectare și execuție; este utilă și studenților din facultățile de construcții.

Redactor : ing. **EMILIA ILIE**
Tehnoredactor : **VALERIU MORARESCU**
Coperta și supracoperta : **SIMONA NICULESCU**

Bun de tipar : 10.03.1977. Coli de tipar : 23,25.
Tiraj : 6 100+75 exemplare legate. Ediția întîia : 1961. Ediția a doua : 1967. C.Z. 624.013/.014

Tiparul executat sub comanda nr. 356 la Întreprinderea Poligrafică „Oltenia", str. Mihai Viteazul, nr. 4.

Prefață la ediția a treia

Prezenta lucrare este continuarea volumului „Construcții metalice" ediția a treia, apărut în Editura tehnică în anul 1975. Față de ediția a doua a aceleiași lucrări „Construcții metalice industriale", apărută în aceeași editură în anul 1967, această nouă ediție a fost complet revăzută; au fost scoase unele capitole, care nu mai prezentau un interes deosebit, au fost introduse capitole noi, restul fiind revăzut și completat.

S-au avut în vedere posibilitățile existente azi în țara noastră, mult mai favorabile, care permit realizarea unor construcții metalice mai raționale la nivelul cerințelor industriei în continuă dezvoltare. Se dispune astăzi de o gamă de oțeluri pentru construcții avînd calități îmbunătățite și de materiale de sudare corespunzătoare; există uzine și ateliere care confecționează construcții metalice și întreprinderi de construcții-montaj bine organizate și dotate, care pot face față exigențelor impuse de condițiile de calitate mai severe cerute de construcții de mare importanță.

Proiectarea construcțiilor metalice, în general, și îndeosebi a celor importante, se face astăzi în organizații de proiectare specializate, bine organizate și care posedă o bună experiență de proiectare.

Prescripțiile de proiectare și execuție (standarde, normative, instrucțiuni tehnice) au fost revăzute aproape în totalitatea lor, au fost puse în acord cu experiența îndelungată din practica din țara noastră, cu aceea din alte țări și cu progresele realizate de proiectare, de calcul și de execuție, la nivelul cunoștințelor teoretice, de cercetare și de tehnica execuției, atinse pînă în prezent.

În lucrarea de față se face o analiză amplă a elementelor de care trebuie să se țină seama la proiectare pentru alegerea soluției constructive a materialelor și a altor elemente în scopul obținerii unei construcții raționale și sigure.

Halele industriale cu structuri mixte din metal și beton armat, a căror utilizare este astăzi foarte răspîndită, sînt tratate în măsură suficientă pentru ca proiectantul să poată alege o asemenea soluție ori de cîte ori este indicat.

Deoarece și în țara noastră s-a trecut la folosirea în unele domenii a construcțiilor metalice industriale metalice cu etaje, s-au introdus capitole noi în care sînt tratate aspectele care trebuie avute în vedere la proiectarea unor astfel de construcții.

S-a introdus un capitol în care este analizată și prezentată proiectarea preîncălzitoarelor de aer din sectorul de furnale, care, prin condițiile în care sînt exploatate, ridică unele probleme speciale de proiectare.

Capitolele referitoare la întreținerea construcțiilor metalice au căpătat o mai mare dezvoltare, ținînd seama de importanța întreținerii la menținerea în stare normală a construcțiilor industriale metalice un timp cît mai îndelungat; o extindere apreciabilă s-a dat și capitolului referitor la consolidarea construcțiilor metalice, urmărindu-se scoaterea în evidență a faptului că la proiectarea și executarea consolidărilor se cer cunoștințe și experiență corespunzătoare acestor lucrări; deoarece în consolidarea construcțiilor metalice prezintă avantaje deosebite luarea în considerare a deformațiilor plastice, este analizată și această posibilitate, care în unele cazuri conduce la consolidări mai simple, mai ușor de executat și mai ieftine.

Autorul

Cuprins

Prefață la ediția a treia 5
Introducere 11

Partea întîi

Aspecte generale ale proiectării construcțiilor industriale 17

I. Alegerea materialului 17
1. Materiale pentru structurile halelor industriale 17
2. Analiza elementelor care se au în vedere la alegerea soluției în metal sau beton armat 19
3. Proiectarea rațională a construcțiilor metalice industriale 24
4. Siguranța construcțiilor 26
5. Rolul inginerului constructor în proiectarea complexelor industriale 31

II. Calculul construcțiilor metalice în domeniul elastic 33
1. Aspecte generale 33
2. Calculul static în domeniul elastic 36
3. Conlucrarea spațială 37
4. Reducerea timpului necesar calculului 38

III. Calculul construcțiilor metalice în domeniul plastic 39
1. Aspecte generale 39
2. Încovoierea în domeniul plastic 39
3. Determinarea capacității portante a unei structuri 46
4. Calculul deformațiilor 48
5. Considerații privind folosirea calculului plastic la proiectarea halelor metalice industriale 49

Partea a doua

Construcții metalice în formă de hale 51

IV. Formele halelor metalice industriale
1. Aspecte generale 51
2. Alcătuirea planului unei hale industriale 52
3. Forma halelor metalice în secțiune transversală și longitudinală 54
4. Măsuri constructive pentru limitarea efectelor unor acțiuni 57

V. Construcția metalică a halei și elementele ce o compun 60
1. Considerații generale 60
2. Elementele componente ale construcțiilor halelor metalice 60

VI. Construcția șarpantei și acoperișurile halelor 64
1. Șarpanta acoperișului 64
2. Considerații asupra învelitorilor 67
3. Construcția luminătoarelor . . . 70
4. Rolul panelor în șarpanta acoperișului 73
5. Măsuri constructive pentru scurgerea apelor 78

VII. Alcătuirea structurii de rezistență a halelor metalice industriale . . 80
1. Posibilități de alcătuire 80
2. Structuri pentru hale fără mijloace de ridicare și transport 86
3. Structuri pentru hale cu mijloace de ridicare și transport 89

VIII. Ferme și grinzi cu zăbrele folosite la structurile halelor industriale 92
1. Forme și alcătuiri 92
2. Ferme ușoare 97
3. Ferme grele 99
4. Grinzi cu zăbrele longitudinale 102

IX. Stîlpii halelor industriale 105
1. Stîlpi pentru hale fără mijloace de ridicare și transport 105
2. Stîlpi pentru hale cu mijloace de ridicare și transport 108
3. Bazele stîlpilor 114

X. Contravîntuirile scheletului structurilor halelor 115
1. Necesitatea contravîntuirii construcțiilor halelor industriale 115
2. Contravîntuiri transversale halei la nivelul acoperișului 117
3. Contravîntuiri longitudinale halei 119

4. Contravîntuiri la diferite şarpante şi luminătoare 120
5. Contravîntuirile stîlpilor halelor 122
6. Detalii constructive 124
XI. **Calculul elementelor structurii** . . 127
1. Ferme 127
2. Grinzi cu zăbrele longitudinale halelor 143
3. Stîlpii halelor industriale 144
4. Calculul legăturii între grinzi, ferme rigle şi stîlpi 155
5. Calculul contravîntuirilor 160
6. Bazele stîlpilor 162
XII. **Pereţii halelor** 163
1. Generalităţi 163
2. Elemente pentru pereţi 164
3. Şarpanta pereţilor 167
4. Contravîntuirile pereţilor şi frontoanelor 171
5. Calculul elementelor pereţilor şi contravîntuirilor 172
XIII. **Grinzi pentru căile mijloacelor de ridicare şi transport** 174
1. Căi pentru cărucioare şi pentru grinzi rulante 174
2. Grinzile căilor podurilor rulante 176
3. Grinzi de frînare 183
4. Aşezarea şi prinderea grinzilor 186
5. Grinzile căilor pentru macarale în consolă 190
XIV. **Calculul grinzilor căilor de rulare** 192
1. Încărcările grinzilor 192
2. Calculul grinzilor cu inimă plină cu grinzi de frînare 194
3. Calculul grinzilor cu inimă plină fără grinzi de frînare 197
4. Elemente pentru calculul grinzilor cu zăbrele şi ale grinzilor căilor macaralelor 200
5. Verificarea inimilor grinzilor la stabilitate 202
6. Calea grinzilor de rulare . . . 206
XV. **Tampoane. Portale** 209
1. Tampoane 209
2. Portale 211
XVI. **Platforme şi scări** 214
1. Platforme 214
2. Calculul platformelor 221
3. Scări 224
XVII. **Hale cu structuri din metal şi beton armat** 225
1. Consideraţii asupra soluţiilor mixte metal-beton armat 225
2. Hale fără poduri rulante 227
3. Hale cu poduri rulante 229
4. Legături 230

Partea a treia

Construcţii metalice industriale cu etaje 235

XVIII. **Necesitatea şi formele construcţiilor metalice industriale cu etaje** 235
1. Consideraţii generale 235
2. Forma construcţiilor cu etaje 236
XIX. **Alcătuirea şi legăturile structurilor cu etaje** 239
1. Alcătuirea structurii de rezistenţă 239
2. Contravîntuirile construcţiilor cu etaje 241
3. Elementele structurii 242
4. Planşee şi pereţi 246
5. Fundaţii 248
XX. **Calculul construcţiilor metalice industriale cu etaje** 249
1. Elemente pentru calcul 251
2. Structuri în cadre 255
3. Structuri cu contravîntuiri verticale 259
4. Verificarea legăturilor între grindă şi stîlp 262
5. Deformaţii 263

Partea a patra

Construcţii industriale auxiliare 263

XXI. **Stîlpi de susţinere** 263
1. Alcătuirea stîlpilor de susţinere 270
2. Calculul construcţiilor de susţinere 278
XXII. **Turnuri şi piloni** 278
1. Tipuri şi alcătuire 282
2. Calculul turnurilor şi pilonilor 288
XXIII. **Buncăre** 288
1. Alcătuire 288
2. Calculul buncărelor 295

XXIV. **Rezervoare** 301
1. Consideraţii generale 301
2. Alcătuirea rezervoarelor 304
3. Elemente pentru calculul rezervoarelor 312
4. Calculul rezervoarelor 318
XXV. **Conducte** 323
1. Alcătuire 323
2. Calculul conductelor 326
XXVI. **Preîncălzitoare de aer** 330
1. Descriere sumară a preîncălzitoarelor 330
2. Construcţia metalică a preîncălzitoarelor 332
3. Calculul construcţiei metalice a preîncălzitoarelor 334
4. Măsuri de siguranţă 338

Partea a cincea

Întreţinere şi consolidări 341

XXVII. **Defecte şi cauzele lor** 341
1. Defecte constatate la recepţia lucrărilor 341
2. Defecte care apar în exploatare 345
XXVIII. **Întreţinerea construcţiilor metalice** 348
1. Scopul întreţinerii. Prevenirea şi descoperirea defectelor 348
2. Remedierea defectelor 353
3. Organizarea unităţii de întreţinere 356
XXIX. **Consolidări** 357
1. Stabilirea necesităţilor de consolidare 357
2. Posibilităţi de consolidare . . . 361
XXX. **Luarea în considerare a deformaţiilor plastice** 365
1. Generalităţi 365
2. Stabilirea necesităţilor de consolidare admiţînd deformaţii plastice 368
3. Posibilităţi de consolidare . . . 369

Introducere

Construcţiile metalice sînt folosite în ţara noastră într-o măsură destul de importantă la realizarea structurilor de rezistenţă a unor hale industriale, la structurile construcţiilor centralelor termoelectrice mari, a unor construcţii cu etaje din domeniul chimici şi a numeroase construcţii auxiliare din domeniul industrici, ca rezervoare, buncăre, conducte, estacade etc.

În ţara noastră, folosirea metalului la construcţii este limitată şi admisă numai în cazurile în care este justificată din punct de vedere economic, din motive tehnologice, sau cînd alte materiale nu ar fi indicate.

Construcţiile metalice executate în ţara noastră au evoluat din punct de vedere calitativ, îndeosebi în ultimele decade, datorită progreselor tehnice asimilate în proiectare, cercetare, în producţia de metale, execuţie, montaj, astfel că astăzi nivelul atins de aceste construcţii este comparativ egal cu acela existent în ţările cu o veche tradiţie.

Evoluţia construcţiilor în ţara noastră a urmat în linii generale acelaşi drum ca şi în alte ţări cu unele decalaje impuse de condiţiile specifice perioadelor respective.

În cele ce urmează se va face o scurtă analiză a drumului parcurs în dezvoltarea construcţiilor metalice în general şi îndeosebi în ţara noastră, pe etape corespunzătoare unor evenimente mai importante intervenite în cursul acestei evoluţii.

O primă etapă se poate considera de la începuturile folosirii metalului ca material de construcţie şi pînă în anul 1776, cînd s-a început construirea primei construcţii importante din metal : podul de cale ferată din fontă de 30 m peste Severn în Anglia.

Pînă spre această dată, începînd chiar de prin secolul al XVII-lea, s-au executat unele construcţii sau elemente de construcţii pentru şarpante de acoperiş. Materialul folosit era fonta şi, într-o mică măsură, fierul pudlat, care se producea însă în cantităţi mici.

Constructorii din acea vreme aveau unele cunoştinţe despre forma şi alcătuirea construcţiilor pe care le executau.

Încă din secolul al XVII-lea *Galileo Galilei* a stabilit unele principii pentru dimensionarea elementelor construcţiilor, ca de exemplu pentru grinda simplu rezemată supusă la încovoiere. Distribuţia eforturilor unitare în secţiune era însă eronată ; alţi cercetători au adus unele corectări, fără însă a ajunge la o distribuţie corectă. Deşi modul de comportare a elementelor de construcţie la diferite solicitări nu era corect interpretat, totuşi construcţiile executate pe baza acestor cunoştinţe rezistau datorită faptului că abaterile făcute erau acoperite de valorile mari ale coeficienţilor de siguranţă pe care le aveau aceste lucrări.

Etapa următoare, după anul 1776 pînă în 1840, constituie o perioadă în care apar noi posibilităţi şi descoperiri care ajută dezvoltarea construcţiilormetalice ;

începe să se producă oţel pudlat pe cale industrială în cantităţi mai mari şi să se laminеze diferite bare şi profile din oţel pudlat, din care se puteau alcătui mai uşor elemente de construcţii.

S-au făcut progrese deosebit de importante şi în domeniul Mecanicii construcţiilor ; începînd din anul 1821 s-au pus bazele unor metode de calcul, care interpretau din ce în ce mai corect modul de comportare al construcţiilor şi al materialelor sub acţiunea diferitelor solicitări. Flambajul barei comprimate axial era acum cunoscut şi se putea da barelor comprimate forma corectă. Cercetările teoretice şi experimentale încep să facă progrese însemnate.

Această etapă este caracterizată şi prin extinderea folosirii construcţiilor metalice în diferite domenii. Se execută poduri şi acoperişuri pentru construcţii cu diferite utilizări. Materialele folosite sînt fonta, încă răspîndită şi oţelul pudlat ; se făceau construcţii din fontă şi din oţel pudlat şi chiar numai din oţel pudlat.

În ţara noastră, prin anul 1831, a fost executat un pod metalic în oraşul Lugoj, fabricat la Reşiţa.

O altă etapă, caracterizată prin progrese importante, este cea cuprinsă între anii 1840 şi 1900. În acest interval s-au descoperit procedee noi pentru fabricarea oţelului din fontă (oţel de fuziune), s-au extins procedeele de laminare, fabricîndu-se din oţel platbande, table şi profile cu forme şi dimensiuni variate.

În domeniul calculului s-au făcut progrese mari ; folosirea mai largă a matematicilor la studiul fenomenelor la care sînt supuse construcţiile şi extinderea cercetărilor teoretice şi experimentale au ajutat într-o măsură din ce în ce mai mare să se treacă la proiectarea şi executarea unor construcţii mari şi variate.

Dezvoltarea industrială care s-a produs începînd din ultimele decenii ale secolului al XVIII-lea şi apariţia căilor ferate au condus de asemenea la extinderea construcţiilor industriale şi a construcţiilor de poduri metalice.

Construcţiile metalice executate în acest interval de timp sînt numeroase şi mari şi constituie dovada realizării unor progrese însemnate în tehnica de a construi în metal.

În ţara noastră s-au executat de asemenea construcţii metalice cum sînt : fermele de la abatorul din Bucureşti, cele de la uzina de apă Grozăveşti, hala oţelăriei din Reşiţa, executată pe la anul 1868, construcţia atelierelor căilor ferate din Iaşi începută în anul 1897 şi altele.

O etapă deosebită, mai ales în ceea ce priveşte dezvoltarea construcţiilor halelor industriale, este între anii 1 900 şi 1948.

Odată cu introducerea podurilor rulante, structura halelor a început să capete forme mai complexe. La început grinzile metalice care susţineau căile podurilor rulante erau susţinute pe stîlpi metalici, independenţi de structura de rezistenţă a halei. Hale industriale cu structuri în cadre transversale metalice s-au adoptat şi dezvoltat abia pe la începutul secolului al XX-lea.

Crizele economice dintre anii 1900—1948 precum şi cele două războaie mondiale, cu consecinţele lor dezastruoase, au influenţat defavorabil mersul dezvoltării construcţiilor metalice.

Totuşi, şi în acest interval de timp s-au realizat progrese şi s-au executat lucrări importante. Sortimentele de laminate s-au mărit ; după anul 1930 au început să fie folosite şi la construcţii industriale profile din tablă subţire formate la rece, care se fabricau şi mai înainte, fiind folosite însă în industria automobilelor, pentru confecţionarea tîmplăriei, mobilei etc.

Formele constructive ale construcţiilor metalice devin din ce în ce mai raţionale şi mai simple. Metodele de calcul se perfecţionează şi se dezvoltă ; iau amploare cercetările ştiinţifice teoretice şi experimentale cu aplicaţii şi la construcţiile metalice. Sudarea electrică, ca mijloc de îmbinare, descoperită încă din secolul trecut, este folosită din ce în ce mai mult la confecţionarea construcţiilor metalice.

În ţara noastră, între anii 1900 şi 1909 s-au executat multe construcţii metalice, între care, din cele mai importante, se pot cita : estacada metalică din lungul cheiului silozurilor de la Constanţa, rezervoare metalice pentru produse petroliere, hale industriale, hangare pentru aviaţie şi unele construcţii cu etaje cu schelet metalic.

Etapa actuală, după anul 1948, este caracterizată printr-o dezvoltare de proporţii mari şi rapide a industriei şi în special a industriei grele, care are nevoie de construcţii mari şi de construcţii speciale, din care multe au fost executate din metal.

În acest interval de timp ştiinţa şi tehnica au făcut progrese mari, cu urmări avantajoase şi pentru construcţiile metalice.

În primii ani după război eforturile au fost concentrate pentru înlăturarea consecinţelor gravelor distrugeri produse în numeroase ţări în timpul războiului. S-au refăcut şi construit poduri, clădiri pentru uzine, şcoli, locuinţe ; metalul a fost folosit pe scară largă.

Metalurgia s-a dezvoltat, producţia de oţel a crescut şi s-au diversificat mărcile şi calităţile oţelurilor ; oţelul carbon obişnuit a fost îmbunătăţit apreciabil, s-a trecut la producţia de oţeluri cu calităţi superioare, cu granulaţie fină ; s-au creeat şi produs oţeluri slab aliate pentru construcţii şi oţeluri aliate foarte variate pentru diferite utilizări, unele servind şi pentru construcţii.

Producţia de materiale pentru sudare a crescut şi produsele s-au îmbunătăţit, putînd satisface cele mai grele cerinţe ale construcţiilor ; s-au studiat şi elaborat tehnologii de sudare, corespunzătoare diferitelor categorii de oţeluri şi construcţii.

S-au răspîndit îmbinările cu şuruburi de înaltă rezistenţă pretensionate la montaj.

Sortimentele de laminate s-au îmbunătăţit, în multe ţări adoptîndu-se profile economice.

Un interes deosebit din punct de vedere tehnic şi economic îl prezintă dezvoltarea producţiei de profile cu pereţi subţiri formate la rece şi utilizarea acestora în măsură din ce în ce mai mare la construcţii. Astăzi sînt ţări în care construcţiile la care nu se utilizează unele elemente din profile cu pereţi subţiri formate la rece sînt destul de rare.

Ca în toate ramurile economiei, şi în domeniul construcţiilor s-a ajuns la rezultate superioare, datorită extensiunii pe care au luat-o cercetările teoretice şi experimentale. În toate ţările industrializate sau în curs de industrializare au luat fiinţă organizaţii de cercetare, dotate cu mijloace tehnice necesare cercetărilor. Comunicările ce se fac la congrese, conferinţe, ca şi rezultatele ce se obţin în urma cercetărilor, sînt publicate, astfel că răspîndirea şi cunoaşterea lor ajută continuu la ridicarea nivelului calitativ al construcţiilor metalice. S-au creat organisme internaţionale care coordonează şi sprijină cercetările şi elaborarea diferitelor norme. În cazul construcţiilor metalice se menţionează Comisia europeană pentru construcţii metalice, comisiile de specialitate C.A.E.R., Organizaţia internaţională de standardizare I.S.O. etc.

Un nivel înalt de perfecţionare l-au atins şi metodele de calcul ; în domeniul Mecanicii construcţiilor s-au făcut însemnate progrese, aspectele fenomenelor ce apar în construcţii fiind din ce în ce mai larg abordate şi tratate din punct de vedere inginerese.

S-au realizat progrese în analiza şi studiul comportării construcţiilor metalice în domeniul plastic.

Pentru calculul construcţiilor metalice, în diferite ţări s-a adoptat metoda de calcul la stările limită, care prezintă o serie de avantaje faţă de metoda rezistenţelor admisibile.

Se dă o importanţă din ce în ce mai mare interpretării şi determinării gradului de siguranţă pe care-l prezintă o construcţie în condiţii determinate.

Principiul care stă astăzi la baza proiectării este : realizarea unor construcţii metalice cu un consum de metal mic şi cu un preţ de cost redus, fără a dăuna calităţii construcţiei din punct de vedere al siguranţei şi al destinaţiei sale.

Progresele realizate în domeniul construcţiilor metalice după al doilea război mondial sînt foarte mari în ceea ce priveşte concepţia, forma, alcătuirea, calitatea, consumul de metal, costul, rapiditatea de execuţie etc. Dacă se priveşte şi se compară o construcţie metalică executată în jurul anului 1920 cu alta de aceeaşi natură executată astăzi, diferenţele de concepţie, formă, suplete sînt evidente şi în favoarea construcţiei actuale.

Domeniile de utilizare a construcţiilor metalice sînt variate ; consumul de metal pentru construcţii metalice creşte, deşi greutatea lor specifică scade continuu.

Oţelul este folosit în măsură mare la construcţiile din diferite industrii ; în combinatele siderugice, unde sînt hale cu suprafeţe foarte mari, cu regim de lucru foarte greu, metalul ca material de construcţie pentru structurile acestora se impune.

Metalul este folosit în măsură mare şi la alte construcţii : acoperirea sălilor de sport de mare capacitate, a sălilor de expoziţii ; se folosesc în multe cazuri construcţii spaţiale, acoperişuri cu reţele de cabluri şi altele.

Multe construcţii, îndeosebi cele cu multe etaje, se fac cu schelet metalic ; s-a ajuns astăzi la construcţii cu peste 100 de etaje şi cu o înălţime deasupra solului de peste 400 m.

Oţelul este larg folosit şi la construcţia rezervoarelor cu capacitate mare, a rezervoarelor de presiune, a silozurilor de cereale, zahăr etc.

Stîlpii pentru necesităţile transmisiilor de radio şi televiziune, foarte înalţi, sînt executaţi din metal.

Sînt situaţii cînd, folosind construcţii metalice, este posibil să se rezolve anumite probleme uşor şi repede ; la sfîrşitul ultimului război mondial, în vestul Europei, în zonele în care distrugerile au fost foarte mari, numărul şcolilor de diferite grade, care era necesar să fie reconstruite în timp scurt, era foarte mare. S-a putut rezolva problema uşor şi repede adoptîndu-se soluţia unor construcţii metalice executate din elemente tip prefabricate.

În ţara noastră, după al doilea război mondial, în domeniul construcţiilor metalice ca şi în alte domenii s-au făcut progrese deosebit de însemnate. Producţia de oţel s-a mărit foarte mult ; în anul 1980 producţia de oţel va ajunge la 17—18 milioane de tone, putînd astfel să asigure necesarul de metal al economiei noastre ; a crescut şi va creşte producţia oţelurilor slab aliate şi aliate. Se produc azi în ţară oţeluri cu caracteristici îmbunătăţite, oţeluri cu granulaţie fină, oţeluri cu proprietăţi superioare de sudare, care satisfac din ce în ce mai bine exigenţele diferitelor categorii de construcţii metalice.

S-a dezvoltat producţia de materiale pentru sudare (sîrme, fluxuri, electrozi), cu sortimente şi calităţi care corespund în general tuturor necesităţilor.

Producţia de profile cu pereţi subţiri formate la rece, necxistentă în ţara noastră înainte de 1948, începînd din anul 1966, cînd au intrat în funcţiune laminoarele de profile la rece de la Întreprinderea metalurgică Iaşi, s-a dezvoltat continuu ; astăzi se produce la această întreprindere o gamă de sortimente de profile foarte variată din care multe destinate construcţiilor metalice.

Şuruburile de înaltă rezistenţă pretensionate la montaj au început să fie fabricate şi folosite în ţara noastră în jurul anului 1960. Primele construcţii la care s-au folosit îmbinări de montaj cu şuruburi de înaltă rezistenţă au fost hala Întreprinderii metalurgice Iaşi pentru ţevi şi profile cu pereţi subţiri, hala Uzinei de sîrmă şi produse din sîrmă Buzău şi o serie de hale de la Combinatul siderurgic Galaţi. Folosirea îmbinărilor de montaj cu şuruburi de înaltă rezistenţă s-a extins repede, astăzi fiind utilizate pe scară largă.

În ţara noastră a început să se dezvolte şi industria de aluminiu ; în anul 1965 a intrat în funcţiune Uzina de aluminiu de la Oradea şi apoi Uzina de aluminiu de la Slatina. La Slatina se fabrică din aliaje de aluminiu prin laminare sau extrudare diferite sortimente ca table şi profile, unele din acestea fiind destinate a fi folosite în construcţii.

Cercetarea ştiinţifică, teoretică şi experimentală, în domeniul construcţiilor metalice, după anul 1948 a luat în ţara noastră o mare extindere ; s-au înfiinţat institute de cercetare pentru construcţii cu secţii şi pentru construcţii metalice şi pentru sudură. Prin reorganizarea învăţămîntului superior, la institutele de învăţămînt tehnic superior, în preocupările catedrelor, a fost inclusă şi cercetarea teoretică şi experimentală, care treptat s-a dezvoltat şi s-a orientat spre probleme legate de necesităţile producţiei.

În institutele de proiectare din țara noastră se depune continuu o activitate susținută pentru perfecționarea și simplificarea formelor constructive, pentru reducerea consumului de metal și în general pentru asigurarea unei proiectări irațională din punct de vedere tehnic și economic. Pentru diferite elemente de construcții metalice cu o folosire mai răspîndită, s-a trecut la întocmirea unor proiecte tip, cu parametri avantajoși.

O activitate susținută se desfășoară și pentru elaborarea și însușirea unor tehnologii de execuție și montaj moderne, care contribuie la realizarea unor construcții metalice care au calități superioare.

Calculul construcțiilor metalice a evoluat continuu în acest timp ; au fost întocmite standarde și normative pentru proiectarea construcțiilor metalice, pentru execuție și montaj și pentru recepția construcțiilor metalice. A fost adoptată și în țara noastră metoda de calcul la stările limită.

Unele exemple de construcții metalice realizate în țara noastră după anul 1948 sînt expuse în lucrarea [31].

ASPECTE GENERALE ALE PROIECTĂRII CONSTRUCȚIILOR INDUSTRIALE

I. Alegerea materialului

1. Materiale pentru structurile halelor industriale

a. Considerații generale

Materialele folosite astăzi pentru structurile halelor industriale sînt betonul armat și metalul.

Betonul armat, apărut cu puțin înainte de sfîrșitul secolului trecut, a fost introdus în țara noastră de Anghel Saligny în anul 1886 la construcția celulelor silozurilor de la docurile din Brăila ; celulele acestor silozuri erau alcătuite din elemente prefabricate din beton armat, legate între ele prin armături sudate. În anii care au urmat s-au mai executat din beton armat silozuri la Galați și Constanța, unele magazii, planșee și altele. Lucrări în beton armat mai importante n-au fost executate în număr mare înainte de anul 1900 nici în alte țări.

Construcții de poduri din beton armat au început să se execute ceva mai tîrziu ; abia după primul război mondial construcțiile podurilor de beton armat au luat o dezvoltare mai mare.

Avantajele pe care le prezenta betonul armat pentru construcții au atras de la începutul apariției lui atenția inginerilor, astfel că betonul armat s-a impus repede ca un material foarte util, ceea ce a dus la răspîndirea folosirii acestuia la construcții foarte variate. Trecerea la producerea pe cale industrială a elementelor de construcție și apoi introducerea precomprimării au constituit un progres remarcabil și au contribuit la lărgirea domeniului de utilizare.

Din beton armat s-au executat la noi în țară înainte de al doilea război mondial multe construcții: clădiri de locuit, construcții sociale, hangare pentru aviație, remize pentru locomotive, castele de apă, rezervoare, construcții pentru diferite ateliere, magazii și altele; au fost executate de asemenea poduri, în special pentru șosele, din care multe deosebit de interesante.

Pînă la începutul secolului actual, *metalul* a fost practic singurul material folosit la structurile construcțiilor industriale; unele construcții de importanță redusă se executau din zidărie cu acoperișul din metal și uneori din lemn. Această situație a continuat, cu unele excepții, pînă la primul război mondial.

După primul război mondial, pînă prin anul 1940, betonul armat a început să fie folosit într-o măsură mai mare și la structurile halelor industriale; construcțiile importante se executau însă din metal.

După anul 1948, datorită progreselor realizate în tehnica betonului armat, folosirea betonului armat la construcții industriale s-a extins, construcțiile din beton armat fiind preferate, datorită pe de o parte consumului mai redus de metal, iar pe de alta, din cauza restricțiilor referitoare la executarea unor construcții integral din metal.

b. Structuri din beton armat sau din metal

În multe cazuri, adoptarea unui material sau altul constituie o problemă simplă; în toate cazurile în care este posibil să fie folosit betonul armat se va alege acest material, care în general conduce la construcții pentru care se consumă mai puțin metal și care au un preț de cost mai redus.

Sînt însă cazuri cînd alegerea unui material sau a altuia nu se poate face decît în urma unei analize aprofundate, deoarece atît betonul armat cît și metalul nu corespund în orice situație condițiilor speciale în care se va găsi construcția în timpul exploatării; o alegere greșită poate avea influențe nefavorabile pentru exploatarea și chiar asupra siguranței construcției.

Este recomandabil ca la proiectare să se analizeze care este materialul, beton armat sau metal, care conduce la o soluție corespunzătoare scopului pentru care se execută construcția.

Deși costul este un element important în alegerea soluției adoptate pentru o construcție, trebuie ținut seama că un rol deosebit îl au în special calitatea construcției de a satisface corect necesitățile exploatării și siguranța; acestea nu pot fi îndeplinite în orice condiții și cu orice marterial.

Analiza care se face cu ocazia proiectării trebuie să țină seama desigur și de alte elemente care pot influența alegerea materialului, elemente care depind de specificul construcțiilor care se proiectează și al condițiilor în care se execută și se folosesc.

2. Analiza elementelor care se au în vedere la alegerea soluției în metal sau beton armat

a. Calități și inconveniente pe care le prezintă metalul și betonul armat

Metalul, ca material pentru construcții, *are numeroase calități* dintre care se menționează:

— oțelul are rezistențe mecanice mari, caracteristicile mecanice fiind bine cunoscute;

— fabricarea oțelurilor și produselor din oțel este bine stăpînită, abaterile de calitate putînd fi încadrate în limite foarte strînse și suficient controlate;

— dimensiunile elementelor construcțiilor metalice rezultă mici și greutatea proprie a construcției este redusă;

— oțelul se comportă la fel la solicitări de întindere și de compresiune, ceea ce constituie un avantaj pentru alcătuirea și comportarea elementelor de construcție;

— construcțiile metalice prezintă un înalt grad de prefabricare pe cale industrială, iar montajul și îmbinarea la șantier a elementelor care compun construcția se fac ușor și repede;

— construcțiile metalice se pot consolida și modifica ușor, uneori chiar fără întreruperea exploatării, dacă intervin schimbări în tehnologia de fabricare, care ar impune asemenea lucrări;

— metalul are o comportare mai sigură la solicitări cu vibrații sau șocuri rezultate de la unele utilaje sau instalații;

— construcțiile halelor metalice pot fi ușor realizate astfel încît să transmită la teren presiuni mici, ceea ce face să fie preferate în cazul terenurilor slabe, cu tasări mari;

— elementele construcțiilor metalice pot lua, în general, deformații de întindere mari, fără să apară fisuri;

— structura construcțiilor halelor metalice poate fi ușor realizată astfel încît să suporte tasări diferențiate mari, fără inconveniente grave; cînd tasările sînt limitate de condițiile de exploatare, se pot face ușor corectări pentru aducerea diferitelor elemente ale construcției în limitele impuse de folosirea normală a acestora;

— în cazurile în care o construcție trebuie desființată în total sau în parte, desfacerea construcției metalice se face ușor și poate fi folosită cu alte destinații; dacă elementele construcției nu mai pot fi reutilizate, materialul nu este total pierdut, deoarece se folosește ca materie primă la fabricarea oțelului.

Metalul, ca material de construcție, *prezintă și unele dezavantaje*, dintre care se menționează :

— construcțiile din oțel sînt expuse coroziunii cu atît mai mult și mai repede cu cît mediul în care se găsește construcția conține factori agresivi în proporții mai mari și cu acțiune mai intensă ; coroziunea micșorează capacitatea de rezistență a construcției ; construcțiile din oțel necesită o protecție contra coroziunii care, în general, se face prin acoperiri cu diferite vopsele ; în prezent se fabrică materiale care se pot folosi la protecția construcțiilor din oțel cu siguranță suficientă și care se aleg în funcție de natura și intensitatea mediului agresiv ;

— construcțiile metalice cer o întreținere periodică și cheltuielile de întreținere sînt cu atît mai mari cu cît mediul este mai agresiv ;

— construcțiile metalice conduc în general la un consum de metal mai ridicat decît cele din beton armat ; în unele cazuri, însă, folosirea betonului armat nu conduce la un consum de metal mai redus decît în cazul soluției în metal ;

— oțelul fiind necesar și folosit într-o măsură mare în alte ramuri ale economiei, se impune ca în domeniul construcțiilor să fie utilizat atunci cînd nu poate fi înlocuit cu un alt material sau cînd forma și alcătuirea construcției conduc la o soluție economică și din punct de vedere al consumului de metal ;

— construcțiile metalice nu rezistă bine la incendii, deoarece la temperaturi de peste +400°C oțelul de construcții își pierde în mare măsură calitățile de rezistență și deformațiile devin foarte mari ; se pot lua în unele cazuri măsuri de protecție care să reducă influența incendiului un timp oarecare ; acolo unde există pericol pronunțat de incendiu, datorită materialelor sau tehnologiilor folosite în fabricație, construcțiile metalice nu sînt indicate decît dacă se iau măsuri speciale pentru stingerea rapidă a incendiilor.

Folosirea betonului armat la construcții *are numeroase avantaje*, dintre care se menționează cele mai importante privitoare la construcțiile industriale :

— prefabricarea elementelor de beton armat conduce la realizarea unor betoane cu rezistențe mari ; elementele de beton armat precomprimate lucrează obișnuit cu aproape întreaga secțiune numai la compresiune, ceea ce duce la eliminarea fisurilor ;

— construcțiile halelor industriale din beton armat și îndeosebi cele din beton precomprimat cer în general un consum de metal mai mic decît construcțiile realizate integral din metal ; sînt însă cazuri cînd consumul de metal al construcțiilor din metal este aproximativ egal cu acela al construcțiilor din beton armat ; în cazul construcțiilor halelor industriale cu regim foarte greu, cu încărcări importante sau cu deschideri mari consumul de metal este mare și în soluția cu beton armat ;

— construcțiile din beton armat cer o întreținere redusă și fără cheltuieli mari ;

— betonul asigură în general protecția armăturilor și nu este expus deteriorării în medii cu agresivitate normală ;

— betonul armat rezistă la foc un timp mai îndelungat decît metalul ; comportarea lui depinde însă de intensitatea și durata incendiului ;

Betonul armat are și inconveniente, din care se menționează :

— betonul armat nu este în general indicat la construcții sau la elementele de construcții ale halelor industriale supuse acțiunii directe a unor încărcări variabile sau la șocuri ;

— construcțiile din beton armat sînt încă grele și de aceea nu sînt avantajoase cînd sînt așezate pe terenuri slabe ;

— consolidarea și transformările, cerute de creșterea încărcărilor sau de modificări ale tehnologiei de fabricație se fac greu și cu cheltuieli mari ;

— demolarea construcțiilor din beton armat prezintă dificultăți, este scumpă și, în general, materialul este total pierdut ; pot face excepție într-o măsură oarecare unele construcții din elemente prefabricate ;

— elementele din beton armat nu se comportă bine cînd sînt expuse la temperaturi ridicate ; în cazul cînd temperatura mediului în care se găsesc elementele construcției este ridicată (peste + 80° la + 100°C), se produce o micșorare a volumului prin contracție, ceea ce duce la apariția unor fisuri ; la temperaturi mai ridicate, de exemplu peste + 250°C, apare fenomenul de deshidratare, care este cu atît mai intens cu cît temperatura este mai ridicată, ceea ce duce la dezagregarea betonului. Încălzirea locală a elementelor de beton armat, de exemplu încălzirea unei fețe a unui element prin radiațiile produse de o sursă de căldură situată în apropriere, creează diferențe de temperatură mari între fețele opuse ale elementului, ceea ce duce la dezvoltarea unor eforturi mari și la fisurare.

b. Elementele ce se iau în considerare la alegerea materialului

Construcțiile industriale, pentru a corespunde scopului pentru care sînt executate, trebuie să satisfacă un ansamblu de condiții, dintre care cele mai importante sînt :

— condiții de ordin tehnic, cum ar fi siguranța și durata de utilizare în măsura cerută de necesitățile exploatării ;

— condiții cerute de exploatare, cum sînt satisfacerea nevoilor procesului de producție, adaptare ușoară la modificările procesului tehnologic și întreținere ușoară ;

— condiții economice, între care sînt consumul de materiale mic, volum de muncă redus și cost minim ;

— construcțiile industriale fac parte dintr-un complex industrial, astfel că la proiectarea lor se pun probleme complexe ; pe lîngă cele obișnuite pentru construcții în general, apar și alte probleme impuse de destinația și funcția pe care construcția o are în procesul de producție ; forma și alcătuirea diferitelor hale industriale sînt determinate în mare măsură de natura industriei, de categoria și de modul în care se rezolvă tehnologia de fabricație, de sistemele de transport folosite etc. ;

— construcțiile dintr-o întreprindere industrială consumă o parte importantă din cheltuielile de investiții ; se impune ca proiectarea să examineze și să rezolve cu multă atenție soluțiile constructive, atît din punct de vedere tehnic cît și economic, urmărindu-se reducerea prețului de cost al construcțiilor ;

— în ceea ce privește alegerea materialului din care se va executa construcția unei hale industriale, metal sau beton armat, proiectantul trebuie să analizeze toate aspectele care intervin și conduc la o soluție rațională. În prezent, din punct de vedere tehnic, este posibil ca structura halelor industriale să fie executată în metal sau beton armat ; sînt însă situații în care un material sau altul este mai indicat ; trebuie ținut seama că cele trei grupe de condiții : cele de ordin tehnic, cele cerute de exploatare și cele economice au o pondere egală ; nu este însă indicat să se adopte soluția cea mai ieftină, dacă aceasta nu satisface în măsura necesară și condițiile tehnice și pe cele cerute de exploatare ;

— la alegerea unuia din cele două materiale au o influență și tehnologiile de fabricație ; cu unele corectări admisibile ale tehnologiei aplicate în fabricație, se poate folosi un material pentru construcție care cu o altă tehnologie nu ar putea fi admis ;

— amplasamentul ales pentru industrie poate avea zone unde terenul și soluțiile de fundare pot elimina de exemplu structurile din beton armat. O deplasare, uneori mică, a amplasamentului în aceeași zonă poate da o mai mare libertate pentru alegerea materialului ;

— valoarea costului construcțiilor este influențată într-o măsură uneori mare de natura terenului, cum ar fi un teren pe care se impune fundarea la adîncime mare, teren slab cu posibilități de tasare mari și neuniforme, nivelul apei subterane ridicat, ceea ce ar cere măsuri de izolare grele și scumpe pentru părțile construcției situate sub nivelul apei și altele ; uneori lucrările suplimentare impuse de aceste situații pot mări costul total al construcțiilor, influențînd în același timp și alegerea materialului pentru structură ; o deplasare a amplasamentului în aceeași zonă sau o modificare a sistematizării planului general al complexului industrial ar putea îngădui eliminarea sau reducerea costului lucrărilor suplimentare cerute de natura terenului și ar lăsa mai liberă alegerea materialului pentru structura halelor ;

— costul construcțiilor în ansamblul investiției pentru o industrie nu este determinat numai de concepția constructivă și de materialele folosite pentru construcții : alegerea materialului din care se realizează construcțiile trebuie să țină seama de ansamblul condițiilor cerute pentru proiectarea rațională a întregului complex industrial ;

— proiectarea rațională a construcțiilor industriale poate fi făcută numai în colaborarea și cu alți specialiști care participă la proiectarea complexului industrial.

c. Situații în care metalul se impune

În domeniul construcțiilor industriale sînt situații cînd soluția în metal se impune ; astfel de cazuri apar cînd :

— deschiderile halelor sînt mari ;

— elementele construcției sînt supuse direct acțiunii încărcărilor dinamice și vibratorii ;

— halele au poduri rulante cu regim de lucru greu, foarte greu și foarte greu continuu, grinzile căilor podurilor rulante fiind de obicei la înălțimi mari ;

— regimul de temperatură creează condiții neadmisibile pentru beton armat ;

— agresivitatea mediului este periculoasă pentru beton armat ;

— construcțiile sînt așezate pe terenuri tasabile sau cu un grad pronunțat de sensibilitate la înmuiere ;

— construcțiile conțin sau transportă lichide, gaze, produse petroliere la presiuni mari.

Construcțiile din această categorie pot fi :

— din domeniul siderurgiei : furnale, hale de turnare la furnale, corpul principal al fabricilor de aglomerare, halele oțelăriilor, halele de stripaj, halele pentru pregătirea lingotierelor, halele laminoarelor, ale cuptoarelor adînci, turnătorii pentru piese de fontă și oțel și altele ; asemenea construcții sînt caracterizate prin deschideri, travee și înălțimi mari, prin agresivitate pronunțată a mediului, prin solicitări mari produse de poduri rulante cu capacitate de ridicare mare și regim de lucru greu, foarte greu și foarte greu continuu ;

— hale și alte construcții pentru diferite scopuri utilizate în industria construcțiilor de mașini, în industria aluminiului, în industria chimică, industria energetică etc., caracterizate prin deschideri și înălțimi mari, prin agresivitatea mediului și solicitări importante ;

— platforme industriale care suportă încărcări mari de la mijloace de transport sau de la utilaje industriale care dau vibrații sau sînt sub influența unor temperaturi ridicate ;

— construcții cu etaje folosite în unele sectoare industriale de producție, care suportă utilaje grele sau care produc vibrații ;

— construcții de rezervoare, buncăre, recipienți de presiune supuse la presiuni mari, la efectele unor temperaturi ridicate sau la agresivitatea conținutului ;

— structura de rezistență a halelor așezate pe terenuri sensibile la înmuiere, construcțiile metalice fiind mai ușoare și mai puțin sensibile la tasări diferențiate ; aducerea la cotele inițiale a unor elemente influențate de tasare se poate face cu destulă ușurință ;

— hale în care sînt procese tehnologice care se pot modifica la unele intervale de timp, ceea ce ar putea impune unele modificări ale construcției și chiar consolidări, care se fac mai ușor în cazul construcțiilor metalice.

La unele din construcțiile menționate mai înainte unele părți din construcție pot fi executate din beton armat; la hala furnalelor partea pînă la platforma de lucru este în general din beton armat.

În alte situații, apare avantajos să se adopte soluții constructive mixte, unele elemente ale structurii halelor fiind din metal și altele din beton armat. În asemenea cazuri poate fi avantajos ca șarpanta acoperișului să se execute din metal, sau să se execute din metal și grinzile care susțin căile podurilor rulante; stîlpii se execută din beton armat. Se poate ajunge în asemenea cazuri la un consum de metal mai mic și la un preț de cost mai redus.

Asemenea soluții se pot impune cînd deschiderile halelor sînt mari, cînd există mijloace de ridicare și transport susținute de șarpanta acoperișului și cînd deschiderile grinzilor care susțin calea podurilor rulante sînt mari.

d. Situații în care folosirea metalului este preferată

Dacă analiza parametrilor care determină soluția în metal sau beton armat nu duce la eliminarea soluției în metal, se preferă în multe cazuri construcția în metal, datorită execuției mai ușoare și într-un timp mai scurt.

Soluția în metal este preferată la construcțiile serelor din sectorul agricol, deoarece elementele din metal se pot realiza cu secțiuni mici, ceea ce asigură o iluminare naturală mai bună și mai uniformă.

Se preferă să se execute în metal, construcțiile provizorii de șantier, ca birouri, ateliere, magazii, dormitoare, săli de mese etc., care la terminarea lucrărilor se demontează și se transportă la alte șantiere.

O altă categorie de construcții la care se preferă metalul o constituie galeriile și susținerile galeriilor pentru benzi de transport, îndeosebi cînd galeriile sînt la înălțimi mari, datorită dimensiunilor mai reduse ale elementelor și a ușurinței de montaj.

3. Proiectarea rațională a construcțiilor metalice industriale

a. Alegerea soluției

După ce a fost luată decizia de a se executa construcția în metal se pune mai departe problema de a se alege soluția constructivă cea mai potrivită scopului.

Elementele care intervin la alegerea soluției constructive sînt destul de variate; soluția este influențată de destinația pe care o va avea construcția, de natura și intensitatea acțiunilor la care va fi supusă în timpul folosirii ei, de durată, adică de timpul cît se cere să fie utilizată etc. În general, aceste condiții se precizează prin tema de proiectare. Soluția este influențată de cunoștințele pe care le are proiectantul, de experiența pe care a acumulat-o,

cum și de posibilitățile pe care le are pentru a înțelege și interpreta fenomenele care intervin pe întreaga durată a construcției; la alegerea soluției proiectantul trebuie să aibă în vedere și posibilitățile de execuție și montaj și să intuiască modul cum se va comporta structura construcției realizată într-o concepție sau alta.

După fixarea schemei constructive a unei structuri, în care apar clar legăturile între elementele construcției, se alcătuiește schema statică; ambele scheme conțin forma și dimensiunile structurii și ale elementelor care o compun, determinate prin unele calcule aproximative. Se trece apoi la o nouă fază, în care se verifică, prin metode de calcul exacte, dacă structura și elementele ei, așa cum au fost alese, vor avea sub efectul acțiunilor la care vor fi supuse o comportare acceptată.

Se fac, dacă este cazul, retușeri ale soluției inițiale și modificări ale unor dimensiuni, legături etc.; în această situație poate apărea necesară o refacere a calculelor total sau parțial.

În unele cazuri se folosesc pentru alegerea soluției unele proiecte executate, asemănătoare, cărora li se aduc unele modificări în vederea adaptării acestora la condițiile noului proiect; unele corectări se aduc proiectelor luate ca model, ținîndu-se seama de constatările care s-au făcut pe timpul folosirii acelor construcții în ceea ce privește comportarea în exploatare. Este indicat să se cunoască modul în care s-au comportat în exploatare construcțiile ale căror proiecte vor sta la baza soluțiilor pentru alte proiecte noi; aceasta permite să se introducă îmbunătățirile corespunzătoare soluțiilor care se adoptă.

Este de asemenea recomandabil să se țină seamă de comportarea construcțiilor chiar dacă se alege ca soluție un proiect tip, care a mai fost executat; proiectele tip, după un timp oarecare, pot să nu mai corespundă în măsură suficientă cerințelor tehnice și economice, cerute construcțiilor la un moment dat.

Sînt cazuri, în general pentru proiecte importante, cînd este bine să se aleagă soluția proiectului pe baza cîtorva variante, elaborate sub formă de scheme constructive sau dezvoltate astfel încît să poată fi făcute comparații tehnico-economice.

b. Alegerea calității oțelului

Industria siderurgică fabrică astăzi produse de oțel pentru construcții cu calități diferite care pot satisface în condiții bune necesitățile cele mai variate din domeniul construcțiilor.

La alegerea calității oțelului este necesar în primul rînd să se aibă în vedere obținerea unui grad de siguranță, în măsura cerută de condițiile în care construcția va fi folosită. Oțeluri cu calități obișnuite, ca de exemplu OL37-1 sau OL37-2 pot asigura în multe cazuri siguranța necesară, cu respectarea unor reguli privind concepția și detalierea elementelor construcției. Înlocuirea acestor oțeluri cu altele din clasele de calitate superioare sau cu altele avînd alte mărci, cum sînt oțelurile slab aliate, nu în toate cazurile aduce avantaje de calitate și de siguranță pentru elementele unei construcții într-o măsură care

să justifice utilizarea acestora, ținînd seama și de faptul că prețul de cost al oțelurilor superioare este mai ridicat.

Elemente pe baza cărora se poate face o alegere rațională a calității oțelurilor folosite la diferite construcții sînt dezvoltate pe larg în volumul [31].

O altă problemă care influențează alegerea calității unui oțel este aceea a consumului de oțel și a prețului de cost. Din acest punct de vedere, înainte de a se lua o decizie este necesar să se facă o analiză mai complexă. Oțelurile cu rezistențe superioare, mai scumpe, este în general rațional să fie folosite atunci cînd reducerea cantității de oțel folosită în elementele construcției compensează diferența de cost; sînt însă cazuri cînd utilizarea unor oțeluri speciale este impusă de unele condiții particulare: pericol de rupere fragilă, temperaturi foarte scăzute, solicitări variabile importante și altele.

Alegerea calității oțelului și a soluției constructive sînt interdependente, influențîndu-se reciproc; pentru acest motiv este bine ca rezolvarea lor să se facă în același timp.

4. Siguranța construcțiilor

a. Conceptul de siguranță

Din cele mai îndepărtate timpuri omul și-a pus problema ca ceea ce face pentru necesitățile lui să nu prezinte o primejdie pentru el, aceasta desigur în limitele priceperii lui și a experienței. Constructorii, pe baza experienței căpătate și ale regulilor meșteșugărești transmise din tată în fiu, intuiau într-o măsură oarecare modul cum se va comporta construcția; abia cînd au avut la îndemînă unele posibilități de a calcula construcția și elementele ei, a apărut și ideea de a se preocupa de ceea ce astăzi se înțelege prin siguranța construcției. Multă vreme și chiar în prezent în unele țări și pentru unele construcții gradul de siguranță este apreciat prin coeficienți de siguranță.

În ultimele decenii siguranța construcțiilor constituie obiectul a numeroase cercetări și teorii, pe baza cărora se caută să se precizeze noțiunea de siguranță și să se stabilească reguli științifice pentru determinarea gradului de siguranță a diferitelor construcții.

O construcție este rezultatul unui întreg proces de gîndire și de operații, în care intervin numeroși factori: acțiuni, materiale, execuție, cunoștințele și experiența celor care le proiectează și le execută, cum și posibilitățile de a se interpreta prin calcule influențele acestor factori și modul cum se va comporta construcția.

În final, scopul urmărit astăzi este de a se proiecta și executa o construcție care să fie sigură și economică. Această cerință conține deci două condiții esențiale: siguranță și economie; aceste două condiții trebuie privite și acceptate în mod corect, deoarece o economie exagerată poate fi în dauna siguranței construcției și o siguranță mai mult decît necesară poate conduce la o construcție neeconomică.

S-ar părea că este foarte greu de apreciat siguranța unei construcții, deoarece aceasta depinde de numeroși factori, variabili la rîndul lor.

Deși problema siguranței construcțiilor este foarte complexă, s-a ajuns astăzi la criterii care permit o determinare a gradului de siguranță pe baze mai științifice și deci superioare celor folosite în ultimele decenii. Aceste criterii țin seama de gradul de siguranță cu care se pot stabili limitele în care pot varia fiecare din factorii care intervin la proiectarea, execuția și exploatarea unei construcții. Se admite deci că la baza stabilirii siguranței unei construcții stau elementele care variază între anumite limite, pentru acestea fiind determinat și acceptat un anumit risc, adică o anumită probabilitate ca valorile prescrise să fie mai defavorabile decît cele acceptate. Aceasta se face pe baze statistice. Astfel, pentru elementele care se iau în considerare la proiectare, ca de exemplu caracteristicile materialului, valoarea unor acțiuni etc., se admit valori mai defavorabile în limite fixate în funcție de probabilitatea cu care acestea se pot abate de la valorile standardizate.

Multe accidente în construcții sînt rezultatul unor greșeli de proiectare, a introducerii în lucrare a unor materiale necorespunzătoare, a unor grave abateri de execuție sau a neglijenței. Coeficienții de siguranță luați în considerare la stabilirea gradului de siguranță pentru o construcție nu pot acoperi asemenea situații.

În toate prescripțiile de proiectare și de execuție a construcțiilor se arată că prevederile respective au în vedere că proiectarea se face de persoane cu pregătire și experiență corespunzătoare, că execuția se face de întreprinderi specializate, care posedă dotare și personal avînd capacitatea de a executa lucrările respective și că este asigurat controlul de calitate necesar; aceste măsuri sînt de natură să asigure lucrări realizate cu abaterile admise de norme, deci cu siguranța prevăzută și acceptată la proiectare.

b. Proiectare, siguranță, economie

Proiectarea are un rol important în obținerea unei construcții sigure și economice.

Acțiunile la care este supusă construcția au în general valori precizate prin standarde; pentru unele dintre acțiuni valorile variază în funcție de o serie de elemente care urmează să fie precizate la proiectare, cum sînt regimul de lucru al podurilor rulante, variațiile de temperatură la care pot fi supuse elementele construcției etc.; în alte situații, prescripțiile nu dau valorile acțiunilor, acestea urmînd să fie determinate de proiectant, cum este cazul acțiunilor date de unele utilaje și instalații tehnologice.

Caracteristicile materialelor sînt precizate prin norme; alegerea materialului care are caracteristicile necesare construcției care se proiectează se face de proiectant în funcție de categoria construcției, de importanța încărcărilor, a condițiilor de exploatare și altele.

Alegerea *soluției constructive* se face de proiectant, pentru care acesta are la dispoziție o serie de principii, dar mai ales cunoștințele și experiența de proiectare. Cunoștințele teoretice, care sînt numeroase și foarte variate, se învață, experiența se cîștigă și se îmbogățește printr-o activitate directă de proiectare, prin urmărirea și analizarea comportării diferitelor construcții în decursul timpului ; însușirea cunoștințelor teoretice, experiența și munca organizată fac, după un timp oarecare, ca proiectantul să capete deprinderea de a da soluții corespunzătoare condițiilor pe care urmează să le satisfacă o construcție care i se cere să fie proiectată.

Proiectarea se desfășoară în prezent în țara noastră în colective de proiectare, ceea ce poate asigura calitatea proiectării.

Soluția constructivă pentru o construcție în general și în particular pentru o hală industrială metalică ține seamă de numeroase elemente, care, intervenind în procesul de realizare a construcției, pot avea efecte favorabile sau defavorabile asupra siguranței și economiei construcției. Între aceste elemente sînt :

— posibilitatea ușoară și sigură a alcătuirii prinderilor și îmbinărilor elementelor construcției ;

— uzinarea elementelor construcției în ateliere și transportul lor la șantier ; soluțiile adoptate și reprezentate în desenele de detaliu trebuie să se execute ușor cu mijloacele de care dispune atelierul, dar și cu siguranța necesară ; se va urmări să se evite prelucrările inutile, care măresc costul lucrării ;

— montajul construcțiilor și îmbinarea părților componente la montaj ; operațiile care au loc la șantier, gîndite de proiectant, trebuie să se reflecte în soluția constructivă și în detaliile îmbinărilor de montaj ; modul de rezolvare prin proiectare al tuturor părților construcției trebuie să îngăduie un proces de montaj fără complicații și cu mijloace tehnice de mare productivitate ;

— economia prin reducerea consumului de metal și prin soluții care cer la uzinare și la montaj un volum cît mai mic de muncă, care duc la scurtarea timpului de realizare a construcției.

Construcție economică înseamnă o construcție pentru care se cheltuiește atît cît este necesar pentru ca aceasta să satisfacă condițiile cerute de folosirea în scopul pentru care a fost realizată. O construcție mai mare, cu finisaje mai scumpe și mai rezistentă decît este necesar costă mai mult decît trebuie, ceea ce înseamnă o risipă practic inutilă, care mărește cheltuielile de investiții și deci și costul produselor.

Costul unei construcții este compus din suma cheltuielilor care se fac de la începutul proiectării și cuprinde : costul proiectării, al materialelor, al uzinării, transporturilor și cheltuielile de montaj și finisare etc. ; unele din aceste cheltuieli pot fi micșorate prin proiectare.

În costul produselor intră și alte cheltuieli care depind de construcție, cum sînt cheltuielile de întreținere a construcției. La alegerea soluției este necesar ca proiectarea să țină seama și de aceasta, urmărind reducerea lor.

c. Execuția, montajul, exploatarea ; influențe asupra siguranței și economiei

Execuția și montajul au ca obiect realizarea elementelor construcției și a construcției în ansamblul ei conform proiectului. Prin diferite inițiative, metodele și mijloacele de execuție și montaj pot mări calitatea și deci siguranța construcției, pot reduce costul și scurta durata execuției ; la execuție și la montaj pot interveni și situații care conduc la micșorarea calității sau la cheltuieli suplimentare.

Execuția, în multe cazuri, nerespectînd prevederile proiectului și normativele privitoare la calitatea execuției, realizează lucrări care sau sînt complet rebutate sau, pentru a putea fi folosite, necesită lucrări de remediere ; în alte cazuri, abaterile de la dimensiunile geometrice creează serioase dificultăți la montaj, care produc cheltuieli suplimentare și întîrzieri.

Montajul , corect făcut, este de natură să asigure calitatea construcției ; sînt însă cazuri cînd se fac greșeli cu urmări asupra siguranței construcției și care duc la schimbări în structura construcției și cer consolidări costisitoare.

În general, remedierile și consolidările sînt folosite în cazul construcțiilor metalice, fiind acceptate în cazurile cînd se modifică condițiile de exploatare, se schimbă destinația construcției sau intervin alte cauze. În loc de a demola construcția existentă și a o înlocui cu alta nouă, se fac consolidări, de cele mai multe ori acceptîndu-se un grad de siguranță mai redus.

Remedierile și consolidările introduc în general unele solicitări în sistemul constructiv greu de evaluat prin calcule, care au o oarecare influență asupra gradului de siguranță ; construcțiile trebuie să fie astfel executate și montate încît să se evite de la început asemenea operații.

Construcțiile halelor industriale sînt concepute și proiectate pe baza unei teme, care, între altele, precizează și condițiile în care acestea vor fi folosite ; modificarea acestor condiții poate avea uneori influențe dezavantajoase asupra siguranței construcției, provocînd chiar accidente grave. Ca exemplu se pot cita : introducerea unor utilaje sau instalații care produc acțiuni mult mai mari ca cele prevăzute în temă, neîntreținerea unor utilaje mobile sau care dau șocuri sau vibrații amplificate datorită uzurii și altele ; acestea pot duce la solicitarea elementelor construcției mult mai defavorabil decît s-a avut în vedere la proiectare.

d. Calculul, gradul de siguranță și economia

O parte destul de importantă din procesul de proiectare revine calculelor. Pentru calculul structurilor este necesară cunoașterea tuturor acțiunilor care intervin în timpul exploatării pe durata construcției și a modului cum acestea se manifestă, este necesar să fie cunoscută schema constructivă a structurii care se calculează cu dimensiunile secțiunilor elementelor ce intră în structură, cu legăturile structurii cu alte elemente ale construcției etc. Caracteristicile de

calcul ale materialului folosit se presupun cunoscute, fiind cele admise de proiectant, în concordanță cu marca și clasa de calitate a oțelului ales.

Schema construcției, dimensiunile și legăturile elementelor ce o compun, ținînd seama de importanța construcției și de condițiile în care va fi folosită, se pot alege luînd ca bază o construcție executată cu aceleași caracteristici sau apropiată ; alteori se fac unele calcule rapide, aproximative.

Un calcul cu exactitatea necesară se face după ce s-a fixat schema constructivă și au fost predimensionate elementele structurii.

Pe baza rezultatelor acestor calcule, proiectantul analizează schema constructivă și introduce, dacă este cazul, unele corecții sau modificări, de formă, legături, modificări în calitatea oțelului pentru unele elemente ale construcției ; se procedează de regulă la refacerea calculelor.

Cu rezultatele calculelor statice se trece apoi la verificarea finală a elementelor structurii, a îmbinărilor, a prinderilor ; aceste verificări au scopul de a se obține confirmarea prin calcul că siguranța construcției, așa cum a fost concepută și în ipotezele admise pentru calcul, este satisfăcătoare.

Elementele care stau la baza calculului unei structuri sînt stabilite de proiectant ; acestea pot fi bine alese sau nu. În cazurile în care aceste elemente sînt prea acoperitoare, calculul va confirma că siguranța este bună ; cînd sînt omisiuni, cînd nu sînt luate în considerare pentru calcul unele acțiuni sau sînt admise la valori mai mici decît cele care vor fi în realitate, calculul va confirma de asemenea un grad de siguranță bun.

Calitatea unei construcții este asigurată în primul rînd de priceperea și experiența proiectantului prin alegerea unei soluții corespunzătoare, a materialelor potrivite pentru construcția respectivă și prin interpretarea și evaluarea corectă a acțiunilor la care va fi supusă ; această activitate proprie inginerului constructor nu poate fi înlocuită, cel puțin pînă astăzi, de altcineva și prin altceva.

Sînt de asemenea situații cînd unele solicitări la care este supus materialul din diferite elemente ale construcției nu pot fi determinate prin calcule sau pot fi stabilite cu aproximații mult prea mari. Nu pot fi stabilite prin calcule de rezistență cu o aproximație satisfăcătoare valorile eforturilor remanente rezultate din sudare ; nu se poate determina prin calcule dacă, în unele zone cu mari concentrări de eforturi, deformațiile plastice care vor apărea aici se pot manifesta liber și dacă există pericolul de rupere fragilă.

Există situații cînd siguranța unei construcții nu poate fi determinată numai prin calcule de rezistență și stabilitate ; în asemenea situații proiectantul, prin măsuri specifice proiectării, poate acționa în vederea asigurării gradului de siguranță necesar.

La obținerea unei construcții economice participă și calculul, în special prin faptul că metodele și mijloacele de calcul, permit astăzi să se interpreteze mai bine și mai exact comportarea unei structuri și a elementelor care o compun. Construcția poate fi necconomică dacă ipotezele admise de proiectant sînt mult acoperitoare, ceea ce calculul static nu o poate scoate în evidență. Economia unei construcții poate fi pusă în evidență prin comparare cu alte proiecte executate sau a două sau mai multe variante ale aceluiași proiect.

Calculul are un rol important în realizarea unei construcții de calitate ; într-o măsură cel puțin egală la aceasta contribuie priceperea, cunoștințele și experiența inginerului constructor care proiectează construcția ; aportul inginerului constructor este cu atît mai reușit cu cît, stăpînind bine metodele de calcul știe ce trebuie să obțină din ceea ce face.

5. Rolul inginerului constructor în proiectarea complexelor industriale

a. Activitatea inginerului constructor în colectivul de proiectare a ansamblului industrial

Proiectarea unui ansamblu industrial constituie o activitate complexă, la care participă specialiști din diferite domenii : tehnologi, utilajiști, energeticieni, constructori, instalatori, specialiști în sisteme de transport (căi ferate, rutiere și speciale), sistematizatori și din alte specialități variate, în funcție de natura industriei care se realizează.

În majoritatea cazurilor, între construcție și tehnologia folosită la fabricație, care se desfășoară în construcția respectivă, există o interdependență, care poate fi privită sub mai multe aspecte. Unul din aspecte rezultă din calitatea ce se cere construcției de a asigura desfășurarea tuturor operațiilor care au loc în construcția respectivă în condițiile cele mai avantajoase pentru procesul de fabricație.

În cadrul colectivului complex de proiectare, inginerul constructor, în colaborare cu alți specialiști, stabilește elementele generale în plan și elevație ale construcțiilor în vederea satisfacerii acestei condiții ; aceste elemente variază după natura industriei, după tehnologia de fabricație adoptată, după sistemele de ridicare și transport folosite, după organizarea producției etc.

Suprafața construcțiilor secțiilor productive rezultă din felul producției sau din tehnologia adoptată, din modul de așezare a utilajelor și instalațiilor tehnologice și de transport ; în multe situații, adoptarea unor utilaje cu posibilități de efectuare a mai multor operații contribuie la reducerea suprafeței construcțiilor. Rezolvarea acestor probleme, în multe cazuri, se poate face pe baza mai multor variante ; dintre două sau mai multe variante, care satisfac condițiile cerute de producție, este rațional să se adopte aceea care cere suprafețe mai mici și permit rezolvări constructive mai avantajoase.

Inginerul constructor este un colaborator necesar care participă la analiza și luarea deciziilor în aceste probleme.

În diverse industrii se folosesc diferite construcții speciale ca : rezervoare, castele de apă, turnuri de răcire, galerii de susținere, buncăre, silozuri etc. ; diferitele forme de energie, pentru producerea și distribuirea lor, necesită unele

construcții ; soluțiile de principiu ale acestora se adoptă cu colaborarea inginerului constructor.

Un rol important îl are inginerul constructor în colectivul complex de proiectare la elaborarea planului general al industriei. Sistematizarea teritoriului unei industrii are în vedere o cît mai bună desfășurare a întregului proces de producție cum și reducerea suprafeței de teren ocupată de industria ce se proiectează. Inginerul constructor participă la așezarea diferitelor obiecte pe terenul industriei în funcție de natura terenului, la analiza posibilităților de comasare a diferitelor spații de producție în aceeași hală, la alegerea schemelor de transport pe calea ferată, la alegerea schemei transportului rutier și altele.

În faza de proiectare în care se întocmește studiul tehnico-economic al investiției pentru o industrie, inginerul constructor indică și materialul din care se execută diferitele construcții, materialul avînd influență asupra costului construcțiilor.

Participarea la rezolvarea a numeroase și variate aspecte care apar și se pun colectivului complex de proiectare a unei industrii impune ca inginerul constructor să aibă, pe lîngă cunoștințele de specialitate, o serie de cunoștințe generale, legate de domeniul industriei pentru care este chemat să lucreze ; este necesar să aibă și suficientă experiență, care-l ajută în analizarea problemelor ce se pun și la găsirea soluțiilor corespunzătoare diferitelor situații.

b. Inginerul constructor, specialist în proiectarea construcțiilor industriale

În această calitate inginerul constructor desfășoară o activitate care cuprinde totalitatea operațiilor de elaborare a proiectului diferitelor construcții în toate fazele pînă la detaliile de execuție. La baza proiectării unei construcții stă tema de proiectare a obiectului respectiv. Într-o primă etapă este studiată tema de proiectare. Diferitele soluții de principiu, adoptate prin studiul tehnico-economic, sînt analizate în această fază de proiectare, sînt adaptate temei de proiectare a obiectului, sînt îmbunătățite sau chiar modificate.

Mai departe este definitivată soluția constructivă, sînt stabilite acțiunile și valorile lor, se precizează materialele și calitățile lor, se fac calcule, se elaborează detaliile de execuție ; în întreg procesul de proiectare al unei construcții se are în vedere tehnologia de execuție a elementelor de construcție și tehnologia de montaj, siguranța și economia construcției respective ; în același timp se urmărește ca procesul de producție să fie satisfăcut în cele mai bune condiții.

Inginerul constructor, în această calitate, este chemat să proiecteze cele mai variate construcții ; clădiri de producție, clădiri auxiliare, rezervoare, silozuri, construcții de susținere, construcții pentru diferitele sectoare energetice etc. ; și în această calitate, pentru a proiecta astfel de construcții, inginerul constructor, pe lîngă cunoștințele necesare proiectării unei construcții propriu-zise, este necesar să posede o serie de cunoștințe referitoare la tehnologia proceselor de producție care se vor desfășura în construcțiile pe care le proiectează.

II. Calculul construcțiilor metalice în domeniul elastic

1. Aspecte generale

a. Importanța calculului în activitatea de proiectare

Activitatea de proiectare este foarte complexă ; în cadrul acestei activități una din componente o constituie munca desfășurată pentru efectuarea a diferite calcule, cu un volum care diferă după complexitatea și importanța construcției.

Prin calcule, după ce concepția constructivă a căpătat o formă clară prin schema constructivă, se determină valoarea și distribuția eforturilor în elementele structurii. Rezultatele acestor calcule sînt influențate de datele inițiale, care stau la baza calculului static : schema constructivă, felul și valoarea acțiunilor, modul de distribuție și altele. Este foarte important ca inginerul proiectant să analizeze atent și să precizeze clar toate elementele care se folosesc la efectuarea calculelor ; rezultatele calculelor vor fi influențate de toate omisiunile, erorile și aproximațiile făcute inițial la stabilirea acestor elemente. Rezultatele unor calcule nu pot fi deci apreciate numai prin exactitatea și gradul de aproximație ale operațiilor de calcul propriu-zis.

Pentru formarea completă a inginerului constructor, îndeosebi pentru acela care lucrează în proiectare, cunoștințele teoretice referitoare la calcule au aceeași importanță ca și celelalte cunoștințe despre construcții, ca de exemplu structura acestora, alcătuirea, materialele folosite și altele, necesare proiectării. Aceste cunoștințe permit inginerului constructor să înțeleagă și să vadă cum se deformează o structură sub diferite acțiuni, cum se va comporta în exploatare, îi permit să aleagă o soluție constructivă care să corespundă cît mai bine destinației pe care o are construcția.

Un volum important de calcule se desfășoară, după stabilirea solicitărilor, pentru verificarea elementelor care alcătuiesc structura din punct de vedere al rezistenței și stabilității ; se verifică deformațiile structurii și ale unor elemente, ale îmbinărilor, prinderilor etc.

Calculul static poate fi simplu sau destul de complicat, în funcție de structura construcției și a gradului de aproximație acceptat. Pentru unele construcții se adoptă pentru calcul scheme constructive simplificate, cînd nu este necesar un calcul prea exact și a căror rezolvare se face ușor și cu un volum de muncă mai redus. Sînt însă cazuri cînd o astfel de procedare conduce la soluții constructive mai puțin economice și este deci recomandabilă folosirea unor structuri mai complicate din punct de vedere static, ceea ce evident conduce la calcule mai laborioase.

Apariția și răspîndirea calculatoarelor electronice permit astăzi să se folosească la calculul solicitărilor în structuri scheme constructive mai puțin simplificate, care reflectă mai corect comportarea construcțiilor, deoarece partea care cere cel mai mare volum de muncă este făcută de calculatoarele electronice. Proiectantul este eliberat de un volum mare de muncă și are timp mai mult pentru a se ocupa de proiectarea propriu-zisă.

Rezultatele finale, obținute la calculatoarele electronice, este necesar să fie analizate cu multă atenție de proiectant, singurul în măsură să aprecieze dacă acestea corespund gîndirii și concepției care au stat la baza proiectării.

b. Organizarea calculelor

Desfășurarea calculelor este necesar să se facă în mod organizat; se evită astfel omisiunile, se reduce volumul de muncă, se pot face mai ușor eventuale corectări pe parcurs. Oricare ar fi mijloacele prin care se operează calculele, este necesar să fie bine precizate datele inițiale ale problemei, pe care se vor baza calculele.

Trebuie întocmită cu grijă *schema constructivă*, pe baza căreia se întocmește *schema statică* (schema de calcul). Schema constructivă a unei structuri reprezintă soluția constructivă adoptată și cuprinde elementele care o compun, legăturile cu fundațiile, dimensiunile generale și dimensiunile caracteristice ale elementelor (fig. II.1). Schema de calcul este o reprezentare simplificată a schemei constructive, în care barele sînt indicate prin axele lor, cu legăturile și elementele lor caracteristice, necesare calculului static (fig. II.2, *a*). Schema de

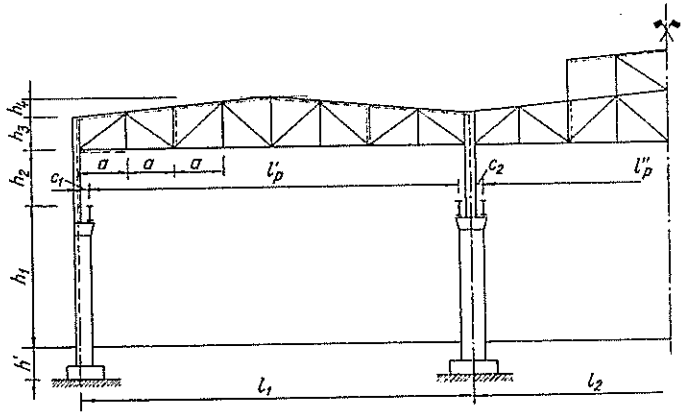


Fig. II.1. Schema constructivă.

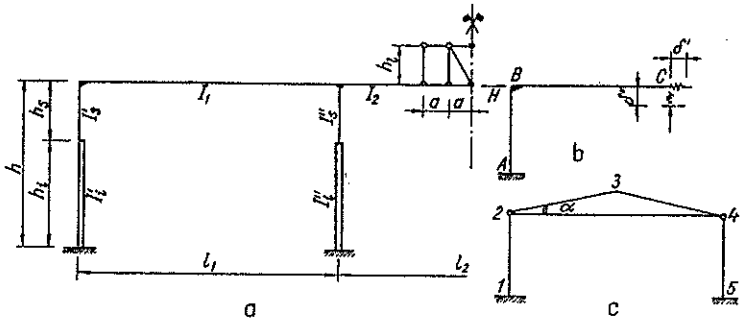


Fig. II.2. Schema statică.

calcul va corespunde exact schemei constructive sau cu unele aproximații îngăduite. În schema de calcul din fig. II.2, *b*, reazemul *C* fiind susținut de o grindă verticală și una orizontală, este reprezentat în mod corespunzător. Schema de calcul trebuie să corespundă principiilor care stau la baza calculelor ce se vor efectua; în schema de calcul din fig. II.2, *c*, nodul *3*, poate căpăta deplasări finite mari, cu atît mai mult cu cît tirantul și reazemele *2* și *4* pot avea deplasări mai mari. Structura pe care o reprezintă își poate pierde ușor stabilitatea astfel că soluția este nesigură, mai ales dacă unghiul α este mic.

Alte scheme utile pentru buna desfășurare a calculelor sînt schemele de încărcări (fig. II.3). Acestea se întocmesc pe categorii de încărcări, precizîndu-se pozițiile, valorile și sensul în care acționează. Cînd calculul static se face în domeniul elastic, fiind admisă suprapunerea efectelor, determinarea eforturilor se poate efectua separat pe categorii de încărcări, făcîndu-se în final suprapunerea lor, conform grupărilor de acțiuni.

Cînd calculul static se face în domeniul elasto-plastic, schemele de încărcări se fac pe grupări de acțiuni.

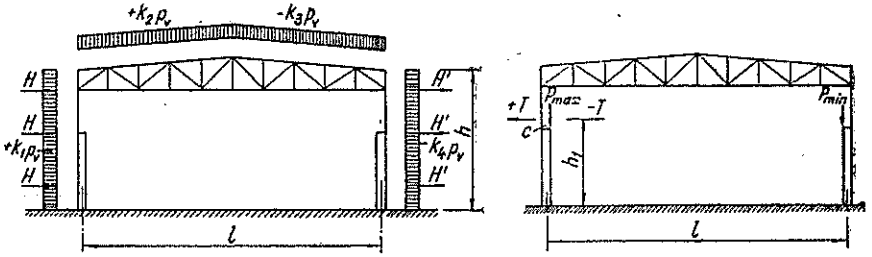


Fig. II.3. Scheme de încărcări.

2. Calculul static în domeniul elastic

Calculul eforturilor în domeniul elastic admite că structurile construcțiilor au în întregime o comportare elastică perfectă. Aceasta presupune că în nici un punct al structurii nu se dezvoltă eforturi unitare care depășesc limita de curgere a oțelului. Această condiție nu este însă întotdeauna total îndeplinită; în elementele construcțiilor apar porțiuni, în general restrînse, unde este atinsă limita de curgere a materialului, datorită concentrărilor de eforturi în jurul găurilor, în locurile de aplicare a unor forțe concentrate, datorită eforturilor remanente din laminare sau sudare și altele. Aceste situații au, în general, efecte locale și prin măsuri constructive se poate ajunge la reducerea lor. Compararea rezultatelor calculelor, considerînd comportarea elastică a structurilor, cu rezultatele măsurătorilor din încercări făcute pe modele sau chiar pe elemente de construcții în mărime naturală arată o concordanță bună.

Eforturile se pot determina printr-un calcul de ordinul I sau II. În calculul de ordinul I starea de echilibru static a forțelor exterioare și a eforturilor interioare se exprimă în raport cu axa nedeformată a structurii, deoarece datorită deformațiilor foarte mici ale materialului, poziția deformată este foarte apropiată de poziția nedeformată a structurii.

În această situație, deplasările fiind mici și materialul elastic, se admite proporționalitatea între acțiuni și deplasări și deci se poate accepta suprapunerea efectelor, adică se poate opera cu acțiuni diferite și însuma efectele: eforturi sau deplasări.

Calculul de ordinul I permite să se aplice metodele de calcul ale staticii liniare, mai simple; statica liniară se poate aplica la calculul celor mai multe din construcțiile folosite în practică.

Calculul de ordinul II este caracterizat prin exprimarea stării de echilibru static la poziția deformată a structurii, comportarea structurii acceptîndu-se tot în domeniul elastic. Această situație poate să apară cînd în elementele structurii sînt eforturi axiale mari, chiar dacă deplasările structurii sînt mici și în cazurile în care deplasările structurii sînt mari. Un exemplu îl oferă grinda comprimată, supusă la o forță axială și la forțe transversale; datorită deformației produsă de momentul încovoietor dat de forțele transversale, forța axială N va produce un supliment de moment încovoietor, față de momentul încovoietor M determinat în raport cu poziția nedeformată a axei grinzii, momentul total fiind $M + \Delta M$.

Proporționalitatea între valorile momentului final $M + \Delta M$ și valorile forțelor transversale nu mai există.

Calculul de ordinul II, care face obiectul staticii neliniare este în general destul de laborios.

În practică se admit în multe cazuri unele procedee de calcul simplificate; se pot determina solicitările (eforturi axiale, momente) aplicînd metodele staticii liniare și introduce anumite corecții, care țin seama de efectele de ordinul II, ca de exemplu la bare supuse la forțe axiale și încovoiere.

În unele situații apare însă necesar să se aplice direct calculul static de ordinul II, folosindu-se relații exacte sau simplificate prin acceptarea unor aproximații.

3. Conlucrarea spațială

a. Considerații asupra comportării construcțiilor alcătuite din diferite elemente plane

Construcțiile metalice ale halelor industriale au o alcătuire spațială, care rezultă din asamblarea a trei categorii de elemente: cadre transversale, sisteme plane longitudinale formate din stîlpi și contravîntuiri longitudinale verticale care leagă stîlpii și diverse contravîntuiri plane din șarpanta acoperișului.

Din considerații practice, construcția metalică a unei hale este descompusă în elemente plane, care se asamblează la montaj, rezultînd construcția spațială prevăzută în proiect. Aceasta conduce la proiectarea, detalierea și desenarea separată a fiecărui element component al halei: ferme, stîlpi, contravîntuiri, grinzi de căi de rulare pentru poduri rulante, pane etc.; calculul acestor elemente se face separat, ținîndu-se seama de rolul fiecăruia și de legăturile dintre ele. Acest mod de procedare ține seamă într-o mare măsură și de comportarea ansamblului structurii; în unele situații această simplificare nu corespunde însă modului de comportare real al structurii halei și este necesar să se considere în calcule o comportare care ia în considerare mai complet existența structurii spațiale reală.

Faptul că la proiectare nu s-a luat în considerare în măsură suficientă existența conlucrării poate conduce la unele rezolvări necorespunzătoare, insuficiente; dimensiunile și legăturile unor elemente, care contribuie în mod real la conlucrarea spațială a ansamblului construcției, pot rezulta insuficiente. În același timp, efectele acțiunilor asupra altor elemente ale structurii pot fi sensibil modificate avantajos sau dezavantajos.

Astfel, în cazul cînd un cadru transversal incomplet este situat între două cadre complete, prin măsuri constructive se poate realiza o conlucrare, prin care cadrul incomplet să fie descărcat într-o măsură oarecare și să fie încărcate cadrele vecine. Dacă toate cadrele vecine sînt alcătuite la fel, existența unor elemente de conlucrare, în cazul acțiunii orizontale a podurilor rulante asupra unui singur cadru, face ca o parte din această acțiune să treacă asupra cadrelor vecine.

În cazul fermelor unei hale care susțin căi pentru mijloace de ridicare și transport, contravîntuirile verticale dintre ferme din dreptul căilor de rulare pot asigura conlucrarea între fermele vecine, în măsura în care contravîntuirile sînt realizate în acest scop.

Neluarea în considerare a conlucrării spațiale la proiectarea halelor poate avea influențe defavorabile asupra comportării acelor elemente constructive care totuși în mod real intervin în conlucrare, deoarece primesc solicitări care nu sînt luate în considerare la dimensionarea lor; în același timp, alte elemente din ansamblul structurii sînt dimensionate fără a se ține seama de descărcarea prin conlucrare și deci sînt supradimensionate.

b. Necesitatea luării în considerare a conlucrării spațiale

Construcțiile halelor metalice avînd o alcătuire spațială se vor comporta în exploatare corespunzător alcătuirii lor. Dacă proiectarea nu asigură în mod organizat conlucrarea spațială, efectele conlucrării nu pot fi cunoscute și folosite în măsură suficientă.

După cum schema unei structuri plane trebuie să reprezinte cît mai fidel construcția structurii, iar la realizarea acesteia este necesar să se țină seama de modul cum se va comporta în realitate, tot așa și în cazul unui ansamblu spațial este necesar să se țină seama de alcătuirea ansamblului și de modul cum se va comporta sub diferite acțiuni.

Conlucrarea spațială face ca ansamblul construcției să aibă o comportare în exploatare mai bună și mai sigură decît a unei construcții fără sau cu elemente insuficiente pentru asigurarea comportării spațiale. Pe de altă parte, luarea în considerare la proiectare a conlucrării spațiale conduce în general și la o reducere a consumului de oțel.

Conlucrarea spațială poate fi realizată în diferite moduri și cu mijloace diverse, după scopul urmărit la proiectare.

4. Reducerea timpului necesar calculului

Proiectarea construcțiilor, așa cum s-a mai arătat, constituie o activitate complexă, care trebuie să conducă la o construcție de calitate superioară, care să servească cît mai bine scopului pentru care este executată, să aibă garantate cu siguranță necesară, rezistența și stabilitatea, să fie economică etc. Volumul de muncă depus de inginerul proiectant trebuie să fie consumat în cea mai mare parte pentru acest scop, deci pentru proiectarea propriu-zisă.

Calculul static și calculele de dimensionare sau verificare a elementelor construcției constituie în general mijloace prin care inginerul proiectant asigură construcției pe care o proiectează o serie de elemente care o fac să corespundă concepției sale; îndeosebi rezultatele calculului permit inginerului proiectant să analizeze măsura în care construcția și elementele ei satisfac condițiile cerute (rezistență, stabilitate, deformații).

Sînt și cazuri cînd calculul poate să aibă un rol preponderent în proiectarea unor construcții.

În general, proiectarea a urmărit să reducă în măsura posibilă și rațională durata cerută de efectuarea calculelor, în scopul de a lăsa inginerului proiectant să se ocupe de rezolvarea celorlalte multiple aspecte care contribuie la asigurarea calității construcției.

Această reducere a volumului de muncă pentru efectuarea calculului se poate face pe de o parte prin alegerea schemei constructive și prin renunțarea la unele legături care conduc la sisteme cu multe grade de nedeterminare, deși prin aceasta se pierd unele avantaje în comportarea construcției și în ceea ce privește economia de material; pe de altă parte, la verificarea barelor structurii se folosesc unele relații simplificate.

O reducere importantă a timpului în care se efectuează calculele o aduce folosirea calculatoarelor electronice care efectuează calculele numerice într-un timp foarte scurt, pe baza datelor formulate de proiectant. Inginerul proiectant, eliberat de efectuarea calculelor algebrice și numerice, care în unele cazuri cer un timp foarte lung, se poate ocupa mai bine la proiectarea propriu-zisă.

În același timp se pot adopta scheme de calcul mai puțin simplificate, care să reprezinte scheme constructive mai complexe și în mai mare măsură în concordanță cu structura considerată rațional a fi adoptată.

III. Calculul construcțiilor metalice în domeniul plastic

1. Aspecte generale

Atingerea limitei de curgere într-o secțiune oarecare nu duce la epuizarea capacității portante a unei structuri, dacă s-au luat măsuri pentru a se evita cedarea prin oboseală sau prin rupere fragilă, astfel că în structurile static nedeterminate, calculate în domeniul elastic, există unele rezerve de rezistență.

Sînt însă și cazuri cînd unele structuri static nedeterminate n-au rezerve de rezistență sau au o rezervă redusă, cum este cazul structurilor de egală rezistență.

Dacă într-o structură de n ori static nedeterminată, într-o secțiune oarecare supusă la încovoiere este depășită limita de curgere a materialului, se dezvoltă deformații plastice și, în măsura în care valoarea acțiunilor crește, se formează o articulație plastică. Consecința este reducerea gradului de nedeterminare de la n la $n - 1$ și structura continuă să suporte creșteri ale valorilor acțiunilor. În final, structura poate deveni static determinată și aceasta corespunde, în general, unor acțiuni cu valori sensibil mai mari decît acelea la care nu se depășește domeniul elastic.

Calculul structurilor care admite depășirea limitei de curgere și ia în considerare deformațiile plastice se bazează pe proprietățile ductile ale materialului

care oferă posibilitatea de redistribuire a eforturilor pe structură, asigurîndu-se astfel buna comportare; calculul care ia în considerare aceste fenomene este un calcul în domeniul plastic.

Oțelurile din care se execută construcțiile metalice îndeplinesc această condiție; oțelul marca OL37 are un palier de curgere lung, deformația specifică ε la sfîrșitul palierului de curgere fiind de 10—15 ori mai mare decît la începutul palierului. Caracteristici bune din acest punct de vedere le au și oțelurile slab aliate marca OL44 și OL52.

În domeniul de solicitare peste limita de curgere nu mai există proporționalitate între valorile acțiunilor și eforturi sau deformații; ca urmare, în acest domeniu nu se mai poate aplica suprapunerea efectelor.

2. Încovoierea în domeniul plastic

a. Formarea articulației plastice și valoarea momentului plastic

În cazul unei bare avînd două axe de simetrie supusă la încovoiere în unul din planurile de simetrie ale secțiunii barei, M fiind momentul încovoietor maxim, care crește continuu, după atingerea limitei de curgere în fibrele extreme încep să intre în curgere zonele vecine dinspre axa neutră a secțiunii; în porțiunile deformate plastic, eforturile unitare rămîn egale cu limita de curgere. Ipoteza secțiunilor plane, în timpul deformării barei, sînt valabile și în domeniul plastic.

În fig. III.1 este arătată variația eforturilor unitare σ și a deformațiilor specifice ε într-o fază oarecare de solicitare în domeniul elasto-plastic.

Pentru o secțiune dreptunghiulară, din relația de echilibru rezultă

$$M = \frac{bh^2}{6}\sigma_c\left[1{,}5 - \frac{1}{2}\left(\frac{c}{h}\right)^2\right] = M_e\left[1{,}5 - 0{,}5\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon}\right)^2\right] \qquad \text{(III.1)}$$

în care: $M_e = W\sigma_c$; M_e reprezintă valoarea momentului încovoietor cînd în fibrele extreme s-a atins limita de curgere.

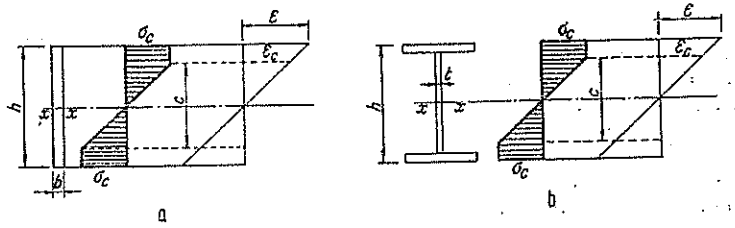


Fig. III.1. Distribuția eforturilor unitare σ și a deformațiilor specifice ε: *a* — secțiune dreptunghiulară; *b* — secțiune în dublu T.

Cînd teoretic deformația specifică ε devine foarte mare, momentul M din secțiune atinge valoarea

$$M = 1{,}5\,M_e \qquad \text{(III.2)}$$

și corespunde stadiului de plastificare a întregii secțiuni în care acționează momentul maxim, care se notează cu M_p; s-a format o *articulație plastică*. Dacă se ține seama de relația (III.2) se poate scrie

$$M_p = W_p\sigma_c = 1{,}5\,W_e\sigma_c \qquad \text{(III.3)}$$

sau

$$W_p = \frac{1{,}5bh^2}{6} = \frac{bh^2}{4}. \qquad \text{(III.4)}$$

unde W_p este un modul de rezistență corespunzător secțiunii integral plastificate și W_e, cînd s-a atins limita de curgere numai în fibrele extreme și care este egal cu modulul de rezistență W al profilului.

Raportul W_p/W variază cu forma secțiunii și se notează cu litera k.

Pentru un profil dublu T, care are tălpile intrate complet în curgere, conform fig. III.1, *b* se poate scrie

$$M = M_p - \frac{tc^2}{12}\sigma_c \qquad \text{(III.5)}$$

sau

$$M = M_e\left[k - \frac{th^2}{12W}\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon}\right)^2\right] \qquad \text{(III.6)}$$

deoarece $M_p = kW\sigma_c$.

Coeficientul k pentru profile dublu T variază între 1,12 și 1,18, după dimensiunile profilului.

În fig. III.2 este arătată variația raportul M/M_e în funcție de $\varepsilon/\varepsilon_c$ pentru o secțiune dreptunghiulară și pentru un profil laminat I 40. Din variația curbelor se vede că valoarea momentului plastic se atinge destul de repede după depășirea limitei de curgere.

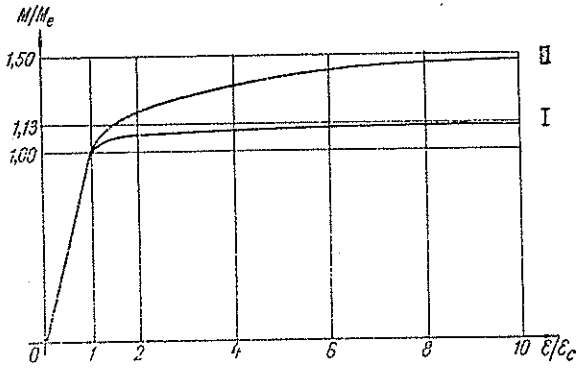


Fig. III.2. Curba M/M_e în funcție de $\varepsilon/\varepsilon_c$.

b. Influența forțelor axiale N asupra valorii momentului plastic

În cazul barelor supuse la un moment încovoietor M și o forță axială N, valoarea momentului în secțiune (fig. III.3) se poate scrie

$$M = M_p - \frac{tc^2}{4}\sigma_c \tag{III.7}$$

sau

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \frac{tc^2}{4W_p} \tag{III.8}$$

unde M_p reprezintă momentul plastic al secțiunii cînd $N = 0$.

În cazul cînd $c = h_i$ rezultă

$$\frac{th_i}{A} = \frac{N}{N_p} \tag{III.9}$$

sau

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \left(\frac{N}{N_p}\right)^2 \frac{A^2}{4tW_p} \tag{III.10}$$

unde N_p este efortul axial corespunzător plastificării secțiunii cînd $M = 0$.

În fig. III.4 este reprezentată curba N/N_p în funcție de M/M_p pentru o secțiune dreptunghiulară și pentru o secțiune în dublu T cu $A_t = 2A_i$. Curba se poate înlocui, cu o aproximație acceptabilă, cu o dreaptă dată de relația

$$\frac{M}{M_p} = \alpha\left(1 - \frac{N}{N_p}\right). \tag{III.11}$$

Coeficientul α se ia în unele norme egal cu 1,18.

Rezultă că valoarea momentului plastic se reduce cu atît mai mult cu cît forța axială N este mai mare.

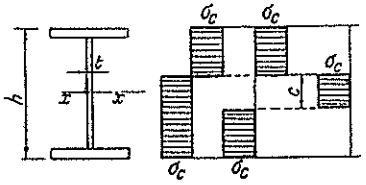


Fig. III.3. Influența forței axiale.

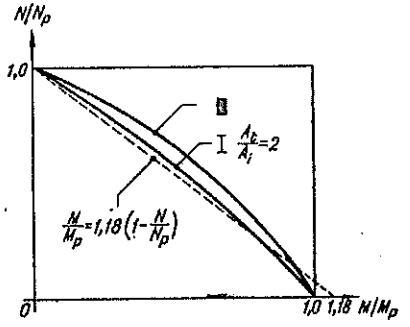


Fig. III.4. Curba N/N_p în funcție de M/M_p.

c. Influența forței tăietoare

În ipoteza că forța tăietoare este luată numai de miezul elastic dintr-o secțiune neplastificată complet (fig. III.5), pentru o grindă cu secțiunea în dublu T se poate scrie cînd $\sigma_{max} = \sigma_c/\sqrt{3}$

$$T = \frac{2}{3\sqrt{3}}\,ct\,\sigma_c. \tag{III.12}$$

Dacă s-ar plastifica uniform întreaga inimă, valoarea forței tăietoare care ar corespunde acestei situații este

$$T_p = \frac{h_i t_i \sigma_c}{\sqrt{3}}. \tag{III.13}$$

Valoarea momentului care se dezvoltă într-o secțiune incomplet plastificată este

$$M = M_p - \frac{t_i c^2}{12}\sigma_c. \tag{III.14}$$

Ținînd seama de relația (III.12) se poate scrie

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \frac{9}{16}\cdot\frac{T^2}{W_p t\sigma_c^2}. \tag{III.15}$$

Luînd în considerare și relația (III.13) rezultă

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \left(\frac{T}{T_p}\right)^2 \cdot \frac{3A_i h_i}{16W_p}. \tag{III.16}$$

În fig. III.6 este reprezentată variația relației (III.16) pentru un profil cu secțiunea în dublu T.

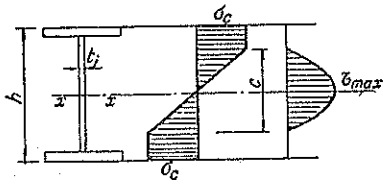


Fig. III.5. Distribuția eforturilor unitare τ.

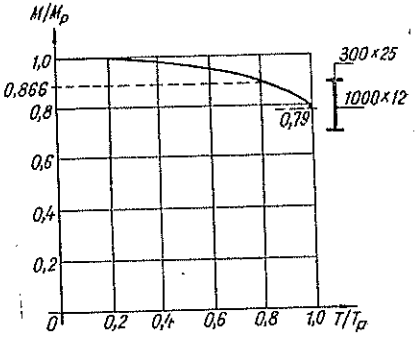


Fig. III.6. Influența forței tăietoare asupra valorii M_p.

Rezultă că influența forței tăietoare asupra valorii momentului plastic poate fi neglijată dacă $T \leq T_p$ sau, mai prudent, cînd

$$T \leqslant 0{,}8\ T_p. \qquad \text{(III.17)}$$

Cînd $T = T_p$, inima secțiunii se va deforma plastic înainte să se fi putut dezvolta articulația plastică.

d. Influența eforturilor variabile

Acțiunile la care sînt supuse în general construcțiile și elementele lor variază în timp de la valoarea zero la o valoare anumită, diferită de la o acțiune la alta, își schimbă sensul între valori maxime și minime sau pot lipsi complet pe o durată oarecare dintr-o grupare considerată la calcule. Variația valorilor acțiunilor poate avea loc la diferite intervale de timp, uneori foarte scurte. Asemenea variații pot influența comportarea unei structuri.

Unele inconveniente în cazul construcțiilor solicitate în domeniul plastic pot fi provocate de existența eforturilor remanente.

Eforturi remanente se dezvoltă la profilele laminate la cald și la elementele de construcții sudate, care, dacă sudarea este făcută corect, sînt mai mici ca cele din laminare. Eforturi remanente apar și în elementele de construcții metalice deformate la rece. Eforturile remanente se echilibrează intern. Eforturile din încovoiere produse de o acțiune oarecare se adaugă celor remanente și limita de curgere în unele puncte ale secțiunii este atinsă mai de vreme; valoarea finală a momentului plastic nu este însă modificată.

O altă situație apare cînd, după formarea unei articulații plastice, secțiunea respectivă este solicitată de un *moment încovoietor de sens contrar* celui care a produs articulația plastică.

Într-o secțiune în care s-a produs o articulație plastică datorită unui moment M^+, după descărcare în fibrele extreme (fig. III.7) rămîn eforturi unitare a căror valoare este

$$\sigma_r = \frac{M^+}{W} - \sigma_c. \qquad \text{(III.18)}$$

Această situație apare datorită faptului că descărcării îi corespunde o distribuție a eforturilor unitare liniară. Dacă se aplică după descărcare un moment M^-, egal și de sens contrar cu M^+, bara se comportă elastic și eforturile unitare din această solicitare se suprapun peste cele remanente; rezultă

$$\frac{M^+}{W} - \frac{M^-}{W} - \sigma_c = \sigma_c. \qquad \text{(III.19)}$$

În final, diagrama de momente va fi corespunzătoare momentului plastic.

În cursul acestor solicitări se produc fenomene reprezentate în diagrama din fig. III.8.

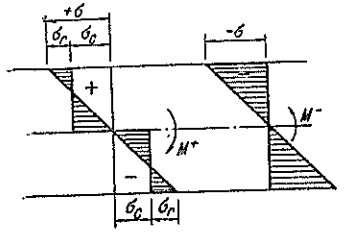


Fig. III.7. Eforturi remanente după descărcare.

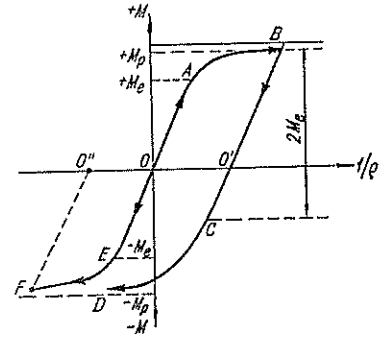


Fig. III.8. Încărcări repetate în domeniul plastic.

La prima încărcare s-a ajuns pe curba M-$1/\rho$ din O în punctul B, iar la descărcare s-a ajuns din B în O'; descărcarea este reprezentată de dreapta BO', comportarea fiind perfect elastică. Aplicînd momentul M^- de sens contrar se va ajunge în D, de pe curba $O'CD$.

Valoarea momentului plastic după descărcare este aceeași ca a momentului plastic produs la încărcare, deci

$$|+ M_p| = |- M_p|. \qquad \text{(III.20)}$$

Din figură se observă că porțiunea de curbă $O'CD$ nu este identică cu porțiunea OEF care s-ar fi obținut dacă s-ar fi aplicat de la început momentul M^-; porțiunea dreaptă $O'C$ este mai scurtă decît OE. Acest fenomen, numit *efectul Bauschinger*, se explică prin aceea că într-o epruvetă din metal policristalin, deformată plastic prin întindere, cristalele cu orientări diferite se deformează și alunecă, astfel că după descărcare rămîn eforturi remanente de sens opus eforturilor produse de întindere; aceasta face ca în cazul cînd după descărcare se aplică un efort de compresiune, să apară deformații plastice mai devreme decît dacă s-ar fi aplicat efortul de compresiune de la început.

O altă constatare rezultată din aplicarea celor două momente M^+ și M^- este

$$\frac{M^+}{W} - \sigma_c + \frac{M^-}{W} = \sigma_c$$

și deci

$$M^+ + M^- = 2W\sigma_c = 2M_e \qquad \text{(III.21)}$$

în care

$$M_e = W\sigma_c.$$

Din aceasta rezultă că dacă s-a aplicat un moment M^+ care a produs o articulație plastică și apoi un moment de sens contrar, comportarea va fi elastică în intervalul $2\,M_e$, care pe figură corespunde porțiunii drepte BC.

O influență defavorabilă asupra comportării articulațiilor plastice o pot avea *solicitările alternante*. În unele situații, deformațiile repetate alternante cresc și ruperea poate avea loc la un număr de cicluri foarte mic. Rezultatele unor încercări la încovoiere alternantă în domeniul plastic au arătat că în domeniul deformațiilor mari, cînd $\varepsilon > 0{,}3\%$, numărul ciclurilor la care se produce ruperea depinde de mărimea amplitudinii deformației metalului în timpul unui ciclu. Pentru oțeluri de tipul OL37 ruperea se poate produce la 20 cicluri de deformații de $\pm$ 5% amplitudine și la circa 17 000 cicluri de deformații de $\pm$ 0,3% amplitudine.

Numai sub această valoare a amplitudinii deformației se poate privi situația ca un fenomen de oboseală obișnuit.

În cazul încărcărilor variabile, a căror variație este în același sens de la zero la o valoare maximă, fiecare încărcare adaugă noi deformații în articulația plastică, care pot fi în general mici. Dacă valoarea momentului care se dezvoltă la fiecare ciclu rămîne sub o anumită valoare, după un număr oarecare de cicluri deformațiile nu mai cresc; după această stabilizare a deformațiilor comportarea este elastică.

Pentru valori mai mari ale momentului decît cele care corespund fenomenului de stabilizare, deformațiile cresc continuu și structura își va pierde capacitatea portantă.

3. Determinarea capacității portante a unei structuri

a. Cedarea plastică

Într-o structură static nedeterminată, cu un grad de nedeterminare egal cu n, în măsura în care valoarea acțiunilor crește, apar articulații plastice în secțiunile în care valoarea momentului plastic devine $M_p = W_p\sigma_c$, dacă alte cauze nu coboară această valoare (existența unor forțe axiale N, solicitări alternante etc.). Apariția unei articulații plastice reduce gradul de nedeterminare al structurii cu o unitate; cînd s-au produs n articulații plastice structura devine static determinată, iar cînd s-au format $n + 1$ articulații structura s-a transformat într-un *mecanism* cu un grad de libertate. În această situație intră în funcțiune mecanismul, deformațiile structurii devin mari și are loc ceea ce se cheamă *cedarea plastică* a structurii.

Determinarea capacității portante pentru o anumită grupare de încărcări se poate face direct în faza finală, adică la formarea mecanismului de cedare, fără a fi nevoie, în general, să fie analizat întreg mecanismul de formare al tuturor articulațiilor plastice. Mecanismul de cedare poate fi general, cînd s-au format toate cele $n + 1$ articulații, sau parțial, cînd la un număr mai mic de articulații plastice se transformă în mecanism numai o parte din structură.

Articulația plastică se consideră în calcule punctuală, deși în realitate, de o parte și de alta a secțiunii în care s-a atins valoarea momentului plastic se

găsesc pe o distanță oarecare porțiuni plastificate parțial. O bară, pe distanța dintre două articulații plastice, se consideră că se comportă elastic.

Articulația plastică se comportă ca o articulație mecanică, în care acționează un moment constant M_p, dacă la creșterea valorii acțiunilor nu se schimbă sensul momentului.

Valoarea momentului plastic într-o secțiune a unei bare supusă la încovoiere este $M_p = W_p\sigma_c$ și depinde deci de caracteristicile secțiunii; într-o structură formată din bare, acestea pot avea dimensiuni și deci și caracteristici mecanice diferite.

Se poate deci scrie că, pentru o astfel de structură momentul plastic pentru diferite bare este exprimat prin relația

$$M_p = \alpha M'_p \tag{III.22}$$

în care:

M'_p este momentul plastic în bara care are cel mai mic W_p;

α — un coeficient numeric mai mare ca unitatea și care reprezintă raportul dintre momentul plastic M_p al unei bare și M'_p.

S-a văzut că efortul axial într-o bară are ca efect reducerea momentului plastic datorit încovoierii; pentru barele supuse și la eforturi axiale, expresia momentului plastic redus s-ar putea scrie sub forma

$$M_p = \beta M_p \tag{III.23}$$

în care β este coeficientul de reducere a momentului plastic produs numai din încovoiere în bara respectivă, care se poate determina cu relația [dedusă din expresia (III.11)]

$$M_p = 1{,}18\, M_p \left(1 - \frac{N}{N_p}\right). \tag{III.24}$$

O condiție de bază la acceptarea cedării plastice a unei structuri impune ca în toate secțiunile în care vor apărea articulații plastice să se poată dezvolta liber deformațiile plastice și deci nu există pericolul să apară fisuri; împiedicarea dezvoltării deformațiilor plastice poate fi provocată de concentrări locale de eforturi, de unele solicitări biaxiale, de tendința de rupere fragilă a oțelurilor, de comportarea unor detalii de îmbinare etc.

După cum s-a arătat, articulațiile plastice se pot distruge într-un timp oarecare cînd sînt supuse la anumite solicitări alternante sau variabile.

Datorită acestor cauze, calculul în domeniul plastic nu se acceptă decît în cazul unor structuri supuse la acțiuni care au un caracter static.

b. Analiza posibilităților de stabilire a cedării plastice

Cunoașterea valorilor momentelor plastice, a sensului în care acționează și a pozițiilor lor permite să se traseze diagrama de momente pe întreaga structură, să se determine forțele axiale din bare și forțele tăietoare; cu aceste elemente se poate proceda la dimensionarea elementelor structurii.

Metodele folosite la calculul static sînt diferite după felul acțiunilor, modul de variație al coeficienților acțiunilor, după natura solicitărilor etc.

În cele ce urmează se analizează unele aspecte principale ce intervin cînd acțiunile au un caracter static și la dimensionare se aplică metoda rezistențelor admisibile sau a stărilor limită.

Cînd se folosește metoda rezistențelor admisibile se obișnuiește să se admită că toate acțiunile din aceeași grupare variază proporțional, pînă la o valoare a factorului de încărcare λ, la care se va produce cedarea plastică; rezultă un moment plastic, corespunzător acestei situații, M_p. Factorul de încărcare λ se ia pentru diferite grupări de acțiuni egal cu valoarea coeficientului de siguranță corespunzător grupării de acțiuni respective.

Unele acțiuni dintr-o grupare pot lipsi temporar pe întreaga structură sau pe unele părți din structură; apare necesar să se examineze în special situațiile în care unele acțiuni sînt aplicate, la o structură cu mai multe deschideri, în diferite deschideri.

În diferite cazuri, pentru verificare, sînt de analizat situațiile în care în unele elemente ale structurii apar forțe axiale maxime sau forțe tăietoare maxime.

Sînt de asemenea situații cînd, datorită soluțiilor constructive, pot apărea fenomene de pierderea stabilității generale sau locale, înainte de formarea mecanismului de cedare, ceea ce trebuie evitat.

Este necesar deci ca proiectantul să facă diferite combinații de acțiuni și deci un număr uneori destul de mare de calcule diferite.

În cazul metodei stărilor limită, coeficienții de variație ai acțiunilor fiind diferiți, variația proporțională a factorului de încărcare nu mai este aceeași pentru toate acțiunile din grupare și pe tot intervalul de variații și situația trebuie analizată pe intervale corespunzătoare variației coeficienților acțiunilor. Celelalte aspecte prezentate pentru cazul metodei rezistențelor admisibile rămîn aceleași și în metoda stărilor limită.

Pentru hale, în cele mai multe cazuri calculul devine laborios, datorită în special numărului mare de cazuri ce trebuie examinat. Folosirea calculatoarelor electronice de calcul reduce timpul în care se pot efectua aceste calcule.

4. Calculul deformațiilor

În cazul structurilor calculate în domeniul plastic, ca și în al acelora calculate în domeniul elastic, în diferite cazuri este necesar să se analizeze și starea limită a exploatării normale; aceasta constă în verificarea dacă în structură sau în unele elemente ale structurii apar deformații mari care nu mai îngăduie folosirea normală a construcției. Determinarea deformațiilor se face în general în stadiul elastic și la calcul se iau în considerare acțiunile normate. Este posibil însă ca deformațiile să fie determinate în situația cînd s-au format n articulații, ultima articulație care urmează fiind pe punctul de a intra în funcțiune. Sistemul este deci static determinat și valorile acțiunilor sînt cele

corespunzătoare cedării plastice. Calculul deformațiilor structurii se face considerînd articulațiile punctiforme și porțiunile barelor dintre articulațiile plastice rigide.

Pentru a se face acest calcul este necesar să fie cunoscută articulația care apare ultima; în tratatele de specialitate sînt date diferite metode pentru a se găsi ultima articulație. Una din aceste metode constă în a face calculul pe intervalele dintre apariția a două articulații plastice consecutive, pornind de la acțiunile normate la valoarea acțiunilor care corespund apariției primei articulații plastice și mergînd apoi pînă la apariția ultimei articulații plastice.

Acest fel de a proceda are avantajul că permite să se cunoască deformația sub acțiunile normate și nivelul acțiunilor la apariția primei articulații plastice.

Unele prescripții prevăd ca deformația calculată în situația de cedare plastică pentru un element oarecare să nu depășească valoarea $0{,}2\ l$, l fiind lungimea elementului. Se consideră că sub acțiunile normate se poate lua jumătate din această valoare; aceasta nu trebuie să fie mai mare ca deformațiile prescrise prin diferite normative.

5. Considerații privind folosirea calculului plastic la proiectarea halelor metalice industriale

Așa cum s-a mai arătat, calculul în domeniul plastic nu se admite decît în cazul unor structuri supuse la acțiuni care au un caracter aproape static. Oțelul folosit trebuie să aibă un palier de curgere lung; este recomandabil oțelul marca OL37. Elementele structurii, grinzi sau stîlpi, vor avea secțiuni pline, în dublu T sau în cheson.

Coeficienții de subțirime (rapoarte b/t sau h/t) ai părților plane ce alcătuiesc secțiunile elementelor comprimate sau încovoiate au valori mai mici decît cele prescrise pentru cazul cînd sînt dimensionate în domeniul elastic.

Prinderile și înnădirile vor fi alcătuite și dimensionate pe baza momentelor, forțelor axiale și forțelor tăietoare determinate în stadiul limită.

La alcătuirea structurilor metalice, calculate în domeniul plastic, se vor respecta o serie de măsuri care asigură că structura sau părți din ea nu își vor pierde stabilitatea sau nu vor ceda din alte cauze, înainte de a se forma ultima articulație plastică. Între asemenea măsuri sînt cele referitoare la legăturile laterale ale barelor supuse la încovoiere. Astfel, se prevăd legături transversale în locurile unde se formează articulații plastice; distanța între o legătură și cele vecine este mai redusă decît cele admise în cazul proiectării în domeniul

elastic. O serie de condiții privind calculul se aplică și stîlpilor care fac parte dintr-o structură calculată în domeniul plastic, în funcție de existența unor articulații la capetele lungimilor de flambaj.

Alcătuirea secțiunilor barelor și ale detaliilor prinderilor, înnădirilor se recomandă să fie cît mai simplă, ușor de executat; în zonele în care se pot forma articulații plastice se vor înlătura orice cauze care împiedică dezvoltarea liberă a deformațiilor plastice; se vor evita formele și alcătuirile rigide care conduc la solicitări plane sau la concentrări de eforturi. La construcțiile sudate se preferă să se folosească îmbinări cap la cap.

Marginile pieselor realizate prin tăiere, în zonele unde se pot forma articulații plastice, vor fi prelucrate.

Partea a doua

CONSTRUCȚII METALICE ÎN FORMĂ DE HALE

IV. Formele halelor metalice industriale

1. Aspecte generale

Prin *hală* se înțelege o construcție care acoperă și închide o suprafață mare de teren; halele au un singur nivel, putînd avea pe anumite zone subsoluri și platforme la diferite niveluri. Spațiul interior al halei este închis la partea superioară cu un acoperiș avînd diferite amenajări pentru iluminat natural și aerisire, în unele cazuri sub acoperiș putînd fi executat un plafon; lateral, spațiul este închis cu pereți prevăzuți cu goluri pentru circulație, ferestre și goluri pentru intrarea aerului necesar aerisirii. Spațiul interior poate fi eventual compartimentat prin pereți, construiți pe diferite înălțimi.

Construcțiile halelor au utilizări foarte variate, în industrie fiind folosite îndeosebi în sectoarele de producție; se folosesc de asemenea în sectoarele cu depozite și în diferite sectoare auxiliare. Construcții în formă de hale se folosesc și în alte domenii: sport, comerț, transporturi etc.

Forma și alcătuirea halelor metalice industriale sînt subordonate unor condiții, între care satisfacerea proceselor de fabricație și a regimului de exploatare; ca urmare, sînt influențate în mare măsură de rolul lor funcțional.

Forma și alcătuirea halelor metalice industriale sînt diferite de la o industrie la alta și, în cadrul aceleiași industrii, de la un sector la altul, după funcția pe care o au de îndeplinit în procesul de producție. Deosebit de acestea halele trebuie să contribuie la asigurarea unor condiții speciale cerute de diferite tehnologii: temperatură și umiditate între anumite limite, iluminare etc.; în alte cazuri, procesele tehnologice sînt însoțite de degajări mari de substanțe nocive, care trebuie să fie eliminate din hală în anumite moduri. Alcătuirea halei va fi influențată de aceste cerințe.

O influență deosebită asupra formei și soluției constructive a halelor o au și mijloacele de ridicare și transport folosite în procesul de producție, în funcție de sistemele folosite, de mărimea și așezarea acestora.

Halele fac parte din diferite complexe industriale; au ca urmare unele legături funcționale cu obiectele vecine. În unele ansambluri industriale diferite procese de fabricație se așază în hale separate; în alte cazuri, mai multe procese tehnologice se grupează în aceeași hală, construcția luînd forma unei hale *monobloc*. Rezolvările constructive ale halelor respective vor fi influențate de aceste situații.

Multiplele condiționări la care trebuie să răspundă construcțiile metalice ale halelor industriale au făcut ca în ultimul timp să apară sisteme constructive specifice diferitelor categorii de industrii sau proceselor de producție pe care le adăpostesc.

2. Alcătuirea planului unei hale industriale

a. Considerații de ordin constructiv

Halele metalice industriale au în plan o formă dreptunghiulară sau o formă rezultată din alăturarea mai multor dreptunghiuri (fig. IV.1). Dimensiunile folosite pentru elementele planului halelor sînt modulate. La multe hale se ajunge astăzi la lungimi și lățimi foarte mari; se impune în asemenea situații ca lățimea halei să fie împărțită în mai multe deschideri.

Forma și dimensiunile în plan, numărul și dimensiunile deschiderilor și travecelor, precum și alte elemente care caracterizează soluția constructivă sînt determinate în mare măsură de condițiile tehnologice, la care se adaugă condiții cerute de natura terenului, de prevederile de dezvoltare în viitor a producției și a extinderii halei; un rol important în această rezolvare o au și condițiile economice.

În final, planul halei este împărțit în *deschideri* și *travee*, rezultînd o rețea de stîlpi, așezați pe laturile și în interiorul halei; stîlpii sînt așezați la intersecția unor axe modulare, cînd rezultă o rețea de stîlpi regulată sau se așază stîlpi numai la unele intersecții, distanțele între stîlpi putînd fii neegale sau egale pe toate șirurile longitudinale.

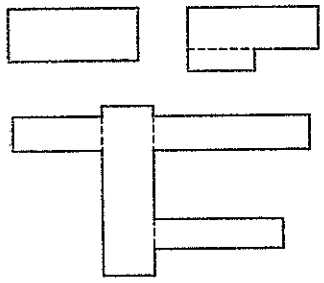


Fig. IV.1. Forma halelor în plan.

Valoarea modulului folosit pentru rețeaua modulară în cazul halelor industriale se ia, de preferință, 6 m; distanțele între axele structurilor transversale se iau de 6 m sau multiplu de 6 m, iar distanțele între axele șirurilor longitudinale multiplu de 6 m, rezultînd deschideri de 12, 18, 24 m și mai mult. Stîlpii se așază, în cele mai multe cazuri, la fiecare

intersecție a axelor transversale cu cele longitudinale; sînt dese situațiile cînd nu se așază stîlpii la fiecare intersecție a axelor modulare, îndeosebi pe șirurile interioare și ca urmare rezultă unele structuri transversale cu stîlpi lipsă, față de cele care au stîlpi la toate intersecțiile. Distanțele longitudinale între stîlpi pot să nu fie aceleași pe toate șirurile longitudinale (fig. IV.2).

Cadrele transversale cu stîlpi lipsă au o rigiditate mai mică decît cele cu stîlpi la toate intersecțiile axelor modulare.

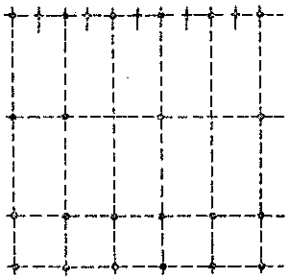


Fig. IV.2. Rețea de stîlpi.

b. Influențe datorite procesului tehnologic

Mărimea deschiderilor și a travecelor este influențată în mare măsură de procesele tehnologice care au loc în hală. Deschiderile trebuie să îngăduie așezarea utilajelor conform fluxului tehnologic; la alegerea mărimii deschiderilor se ține seama de gabaritele diferitelor agregate sau instalații, de ordinea în care se succed; unele agregate se așază chiar pe linia șirurilor longitudinale de stîlpi, ceea ce impune mărimea traveei pe acele șiruri. Sînt cazuri cînd fluxurile tehnologice trec dintr-o deschidere în alta în anumite locuri, ceea ce poate cere o travee mai mare, diferită de travecle obișnuite de pe un șir longitudinal de stîlpi.

În multe hale industriale sînt numeroase instalații subterane, așezate în canale sau camere sub nivelul pardoselii. Pozițiile stîlpilor trebuie coordonate cu aceste obiecte și cu fundațiile agregatelor; aceasta impune anumite distanțe între șirurile de stîlpi longitudinali, diferite de la un șir la altul sau pe același șir pe anumite zone. De regulă, se urmărește ca distanțele longitudinale să fie totuși multiplu al unui modul unic.

Pentru a se asigura halei rigiditatea transversală necesară, este recomandabil ca la oarecare distanțe, două la trei travee, să existe stîlpi la toate intersecțiile axelor modulare.

Sînt unele industrii în care procesele de fabricație se modifică din cînd în cînd și ca urmare utilajele se așază după alte fluxuri, se scot unele utilaje, se instalează altele, ceea ce ar putea impune unele modificări locale în alcătuirea construcției metalice a halei. Se evită această situație dacă în asemenea cazuri se ține seama de la început de natura elastică a proceselor tehnologice. Halele care pot satisface asemenea cerințe au în general rețele de stîlpi rari și mijloacele de ridicare și transport au căile de rulare susținute de șarpanta acoperișului halei. Asemenea hale care permit desfășurarea unor procese tehnologice variate sînt cunoscute sub numele de *hale universale*.

c. Influența naturii terenului

Asupra modului de rezolvare a rețelei de stîlpi a unei hale metalice industriale o influență uneori apreciabilă o au și soluțiile de fundare care pot fi acceptate în funcție de natura terenului, de adîncimea la care se poate funda, de costul fundațiilor și altele.

În unele situații, stratul de teren pe care se pot așeza fundațiile este la o adîncime suficient de mică ; fundațiile stîlpilor se pot deci executa ușor și nu se pun probleme deosebite la alegerea rețelei de stîlpi. Într-o aceeași situație, sub nivelul la care se fundează poate exista un strat de pămînt cu o grosime oarecare care poate suporta bine presiunile transmise de fundații, iar sub acest strat pot fi alte straturi de pămînt care nu pot suporta presiuni mari. În asemenea situații, îndeosebi în cazul construcțiilor care nu sînt prea grele, este preferabil ca stîlpii să fie așezați la distanțe mici, astfel ca presiunile ce se repartizează pe straturile pe pămînt slabe să poate fi suportate de acestea, fără tasări neacceptabile.

În situațiile în care sub nivelul pardoselii halei se găsesc diferite lucrări subterane, canale de fum, de conducte, fundații de utilaje dezvoltate etc., pozițiile stîlpilor sînt influențate de aceste lucrări subterane ; în aceste situații se adoptă o rețea generală cu stîlpi rari sau, în unele zone, distanțele între stîlpi se mărește.

În cazul unor terenuri a căror stratificație conduce la o fundare la adîncimi mari, din cauza dificultăților și costului ridicat al acestor lucrări, este indicată o rețea de stîlpi rară.

Cu ocazia alegerii rețelei de stîlpi pentru o hală metalică industrială este necesar ca proiectarea să analizeze și condițiile cerute de realizarea fundațiilor și să țină seama de aspectele tehnice și de cele economice.

3. Forma halelor metalice în secțiune transversală și longitudinală

a. Considerații tehnologice

Forma și dimensiunile secțiunilor transversale și longitudinale depind în mare măsură de tehnologia după care se desfășoară procesul de producție în hala respectivă.

În principiu, forma în secțiunea transversală este impusă de gabaritele utilajelor care sînt montate în hală, în aceste gabarite fiind incluse și mijloacele de ridicare și transport. În sens longitudinal, hala poate avea porțiuni cu înălțimi diferite, după cum rezultă necesar din procesul tehnologic.

Utilajele și instalațiile montate în hală au în jurul lor spații pentru acces în vederea întreținerii și reparațiilor periodice, care sînt incluse în gabaritele acestora. Pentru podurile rulante și orice alte instalații mobile,

gabaritele de circulație se asigură cu respectarea unor distanțe de siguranță față de părțile fixe ale construcției halei. Cînd se transportă obiecte cu podurile rulante, între acestea și diverse utilaje montate în hală se asigură spațiul necesar de trecere atît în sens transversal, cît și longitudinal.

Existența unor poduri rulante, ale căror căi de rulare sînt susținute de stîlpii halei, impune anumite forme secțiunii transversale ; unele măsuri sînt cerute și de mijloacele de ridicare și transport susținute de fermele halei.

Forma halelor în elevație variază și în funcție de sistemele folosite pentru iluminarea naturală și pentru aerisirea halei sau a unor porțiuni din hală.

Un alt element care determină forma transversală a halelor este modul în care este rezolvată scurgerea apelor de pe acoperiș.

b. Elemente de ordin constructiv

Halele cu o deschidere sau cu două la trei deschideri pot avea în sens transversal forme simple, scurgerea apelor făcîndu-se lateral ; cînd hala are două sau trei deschideri scurgerea apelor se poate face lateral dacă lățimea halei nu este prea mare, 60 pînă la maximum 120 m (fig. IV.3).

Condițiile tehnologice pot impune o variație a înălțimii în diferite deschideri ; un exemplu este dat în fig. IV.4, cînd scurgerea apelor se poate face de asemenea lateral.

În alte cazuri, la halele cu lățimi mari, variația înălțimii în sens transversal este necesar să se facă pe anumite zone, păstrîndu-se aceeași înălțime pe mai multe deschideri (fig. IV.5) ; în asemenea situații, scurgerea apelor de pe acoperiș este necesar să fie făcută și prin interiorul halei, burlanele de scurgere fiind legate la canale prevăzute sub pardoseala halei ; cînd nu se pot executa asemenea canale, scurgerea apelor se face prin tuburi metalice așezate sub doliile acoperișului, care conduc apa în exteriorul halei sau în locuri unde se poate face legătura la canale. Halele pot avea variații de înălțime și în sens longitudinal (fig. IV.6).

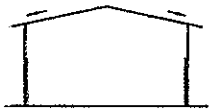


Fig. IV.3. Hală cu scurgeri exterioare.

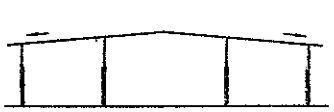


Fig. IV.4. Hală cu scurgeri laterale și înălțimi diferite.

Fig. IV.5. Hală cu înălțimi diferite și scurgeri interioare.

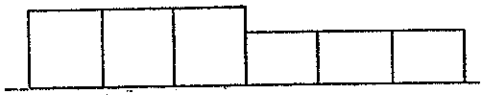


Fig. IV.6. Variația înălțimii halelor în lung.

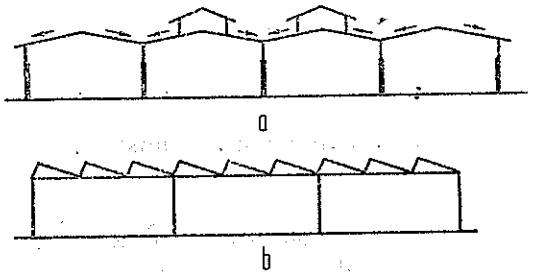


Fig. IV.7. Hale cu înălțime constantă:
a — înălțime constantă; *b* — ședuri.

Fig. IV.8. Hală cu deschideri denivelate.

O soluție foarte des adoptată astăzi în diferite cazuri este aceea a halelor cu înălțime constantă pe toată lățimea halei (fig. IV,7) și care necesită de asemenea ca scurgerea apelor să se facă la interior; în cazul acoperișurilor cu ședuri din fig. IV.7, *b*, scurgerea apelor se poate face uneori și pe la capetele ședurilor. Halele cu înălțime constantă sînt indicate acolo unde transportul se face pe monoșine susținute de șarpanta acoperișului, aceste sisteme de transport putînd trece dintr-o deschidere în alta.

În multe cazuri la halele cu mai multe deschideri pot rezulta înălțimi diferite de la o deschidere la alta, ceea ce conduce la o soluție constructivă mai complicată. Asemenea soluții pot fi evitate sau îmbunătățite, tehnologii putînd deseori găsi și adopta soluții care nu impun variații de înălțime supărătoare. Cînd diferențele de înălțime în două deschideri alăturate sînt mici, se iau înălțimi egale, fiind mai avantajos din punct de vedere constructiv. În cazul unor diferențe mari se păstrează denivelările, urmărindu-se să se evite însă o variație prea mare a acoperișului, eliminîndu-se diferențele mici. Hale cu acoperișuri la diferite niveluri se fac totuși acolo unde această situație este impusă de procesul de producție. Unele exemple sînt arătate în fig. IV.5 și IV.8.

4. Măsuri constructive pentru limitarea efectelor unor acțiuni

a. Analiza efectelor unor acțiuni defavorabile

În multe situații halele ajung la suprafețe mari; din această cauză, unele acțiuni au efecte defavorabile asupra elementelor construcției și asupra comportării acestora.

Variațiile de temperatură la care sînt supuse elementele longitudinale ale construcției produc alungiri sau scurtări; aceste deformații sînt parțial împiedicate de alte elemente ale construcției: stîlpi și contravîntuiri verticale pe șirurile de stîlpi care se opun deformațiilor și deci se încarcă cu unele eforturi; în sens transversal variațiile de temperatură pot de asemenea produce solicitări importante în structura de rezistență.

Un element de construcție avînd lungimea l (fig. IV.9) datorită variației de temperatură t se alungește sau se scurtează cu

$$\Delta l = \alpha l t / k \qquad \text{(IV.1)}$$

în care:

$\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$ este coeficientul de dilatare liniară al oțelului;

k — un coeficient care se poate lua egal cu 1,20 pînă la 1,50 și care ține seama că elementul de construcție nu este complet liber; o parte din variația de lungime este consumată de jocul îmbinărilor cu șuruburi și de unele deformații plastice.

Deformația Δl nu poate fi prea mare, deoarece ar provoca solicitări prea mari în stîlpii dinspre extremități și în contravînturile verticale de pe șirurile de stîlpi. Pentru a se evita această situație, construcția se separă în tronsoane cu o lungime acceptabilă.

La o construcție cu forma în plan din fig. IV.10, dacă porțiunea *1* n-ar fi separată de porțiunile *2*, solicitările din variații de temperatură ar fi foarte defavorabile.

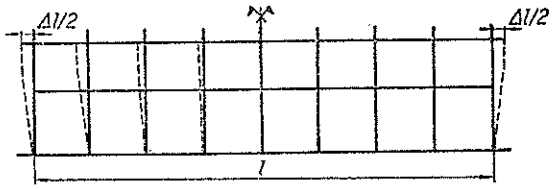


Fig. IV.9. Efectul variației de temperatură.

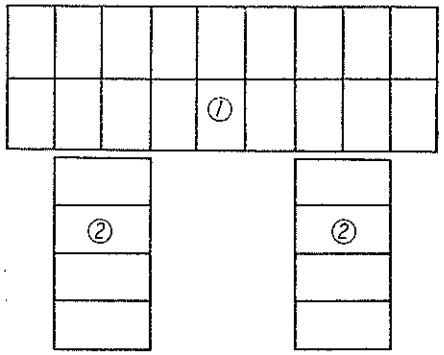


Fig. IV.10. Hală la care porțiunile 2 se separă de 1.

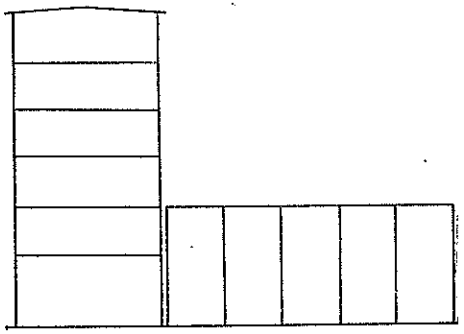


Fig. IV.11. Secțiune verticală prin construcție cu înălțimi diferite.

În sens transversal halei, variațiile de temperatură produc solicitări de care se ține seama la dimensionarea cadrelor; cînd lățimea halei este prea mare, cadrul transversal poate fi foarte solicitat, astfel că este necesar și în acest caz să se facă unele separări.

Construcțiile așezate pe terenuri variate, cu posibilități de tasare diferită de la o zonă la alta, se separă, lăsîndu-se posibilități de tasare liberă diferitelor părți de construcție.

Asemenea măsuri se iau și în cazul unor construcții care au alcătuiri și înălțimi diferite (fig. IV.11); în zone seismice, separarea părților de construcție cu rigidități, deci cu comportări diferite, este obligatorie.

b. Rezolvări constructive

Limitarea suprafeței halelor se face în general prin *rosturi*; se fac *rosturi de dilatare* și *de tasare*, care pot fi dispuse transversal sau longitudinal (fig. IV.12). La rosturi se întrerup toate elementele halei, grinzi, contravîntuiri, elemente de închidere, rezultînd o separare completă între cele două părți vecine; realizarea *rostului transversal halei* se face așezînd pe fundații comune două structuri transversale; distanța între stîlpii a două cadre vecine se ia de la 1,00 la 2,0 m (fig. IV.13). La rosturile de tasare este necesar să se examineze dacă fundațiile stîlpilor vecini se fac comune sau separate. Separarea fundațiilor este indicat să se facă cînd sistemele de fundare sînt diferite pe cele două zone vecine; în acest caz poate rezulta necesar să se mărească distanțele la rosturi.

Rosturile de dilatare longitudinale ale halelor pot fi realizate prin introducerea a doi stîlpi, întrerupîndu-se continuitatea cadrului transversal;

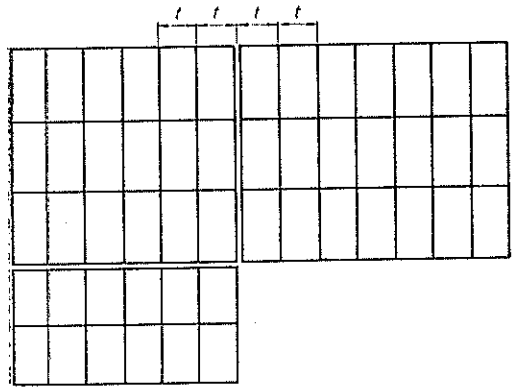


Fig. IV.12. Rosturi de dilatare transversale și longitudinale.

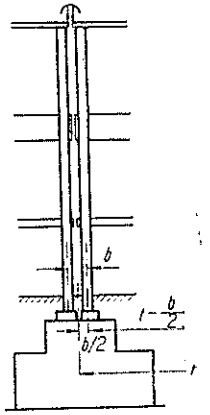


Fig. IV.13. Rosturi cu stîlpi alăturați.

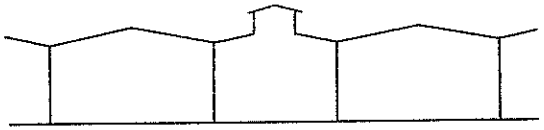


Fig. IV.14. Rost longitudinal prin luminător.

pot fi însă realizate și prin alte mijloace. Halele foarte late pot fi separate în sens longitudinal prin introducerea unei deschideri acoperite cu un luminător așezat pe capetele unor console ale cadrelor vecine; luminătorul are o structură cu rigiditate mică, asigurînd suficientă libertate de mișcare părților vecine (fig. IV.14).

Distanța între două rosturi sau de la un rost la capătul halei se ia în funcție de o serie de elemente, astfel: la halele încălzite iarna, distanța între rosturi poate ajunge la 200 pînă la 250 m, iar la cele neîncălzite poate coborî la 150 m; construcțiile metalice situate în aer liber au distanțe între rosturi mai mici, putînd coborî sub 100 m. O influență asupra distanței între rosturi o are și modul cum sînt alcătuite și prinse de șarpanta metalică elementele de închidere. Acestea nu trebuie să împiedice deformarea liberă a halei între două rosturi sau mișcările halei nu trebuie să deterioreze elementele de închidere.

V. Construcția metalică a halei și elementele ce o compun

1. Considerații generale

Alcătuirea construcției metalice a unei hale industriale este complexă, adesea cu un pronunțat caracter spațial. Ansamblul scheletului metalic poate prezenta forme și alcătuiri mult diferite de la unele hale la altele. Sînt hale care au numai rolul de a închide un spațiu în care se desfășoară o activitate de producție oarecare sau unde se păstrează materiale, produse; altele, pe lîngă această funcțiune, au de suportat instalații, utilaje, mijloace de ridicare și transport, care dau în multe cazuri încărcări mari asupra structurii de rezistență a halei și îi impun forme deosebite, caracteristice acestei situații.

Construcțiile halelor metalice pentru diferite ramuri ale industriilor se deosebesc între ele prin modul de alcătuire al structurii de rezistență, al întregului ansamblu. Halele oțelăriilor de capacitate mare, prevăzute cu cuptoare cu gabarite mari și cu poduri rulante foarte grele, sînt construcții de *tip foarte greu*. Alte hale destinate industriei ușoare au poduri rulante mici sau sînt prevăzute cu mijloace de ridicare și transport suspendate de șarpanta acoperișului; acestea sînt hale metalice de *tip ușor*.

Variații în forma și alcătuirea halelor metalice apar și datorită naturii fabricației care se desfășoară în hale, ca de exemplu turnătorii, mecanică ușoară, textile, confecții etc.

Sînt forme de hale metalice care se pot folosi în domenii diferite, cu unele adaptări și care de regulă sînt tipizate.

2. Elementele componente ale construcțiilor halelor metalice

a. Hale fără mijloace de ridicare și transport

Există hale industriale unde transporturile în interiorul halei se fac prin mijloace de transport la nivelul pardoselii cu ajutorul a diferite tipuri de cărucioare. În alte cazuri, transportul se face pe benzi, pe căi cu role, montate la nivelul pardoselii sau ceva mai sus. În halele de producție unde materia primă folosită și produsele rezultate sînt în formă lichidă, transporturile se fac prin instalații cu tuburi. Transporturi la nivelul solului se fac în multe cazuri și în magazii sau depozite închise.

Asemenea hale sînt caracterizate prin lipsa mijloacelor de ridicare și transport susținute de elementele construcției halei.

Elementele care intră în alcătuirea unor asemenea hale sînt:

Structura de rezistență a halei, care, în general, este dispusă transversal. La o astfel de hală, structura de rezistență susține acoperișul halei și pereții și suportă acțiunile date de zăpadă, vînt, variații de temperatură. Structura de rezistență se compune din stîlpi și ferme sau grinzi, care sînt legate cu stîlpii astfel încît formează cadre transversale halei (fig. V.1).

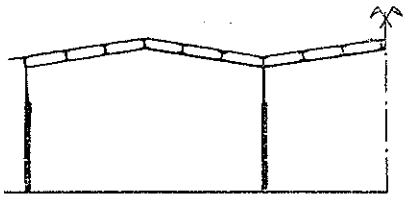


Fig. V.1. Structuri de rezistență transversale cu pane.

În mod schematizat, structura transversală astfel alcătuită este redusă la o formă plană; comportarea reală a structurii astfel simplificată este asigurată prin legăturile pe care le are cu restul ansamblului construcției metalice.

Șarpanta acoperișului halei susține elementele învelitorii și suportă acțiunile pe care învelitoarea le primește.

Șarpanta acoperișului unei hale metalice este, în general, alcătuită din pane; cînd structurile transversale de rezistență sînt la distanță mare se introduc între acestea alte elemente transversale de susținere a panelor, care la rîndul lor reazemă pe grinzi dispuse longitudinal (fig. V.2). Șarpanta metalică a halei poate să nu fie prevăzută cu pane, în acest caz elementele ce alcătuiesc învelitoarea au forme și alcătuiri care permit ca acestea să rezeme direct pe cadrele transversale principale sau pe elementele de susținere transversale intermediare.

Șarpanta acoperișului poate avea forme și alcătuiri variate după modul cum este conceput acoperișul, după sistemul de iluminare și aerisire etc. Luminătoarele și elementele de aerisire și ventilație sînt susținute de șarpanta acoperișului.

Contravînturi, care au forme și funcțiuni bine precizate, îndeplinind un rol important în ansamblul construcției unei hale metalice. Contravînturi se prevăd la construcția șarpantei acoperișului, a luminătoa-

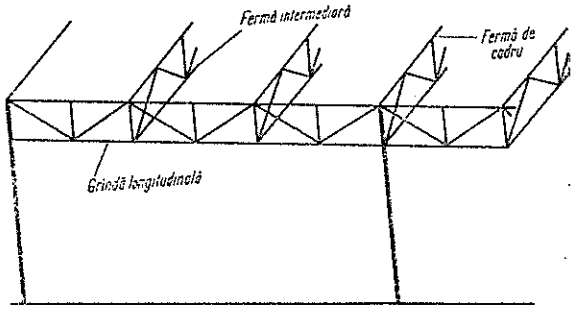


Fig. V.2. Șarpantă cu ferme itermediare.

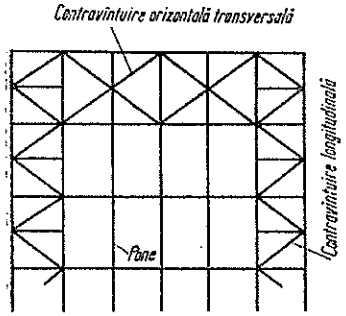


Fig. V.3. Contravîntuirile acoperișului.

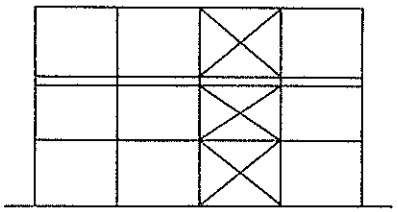


Fig. V.4. Contravîntuirile stîlpilor.

relor, pe șirurile longitudinale de stîlpi, în șarpanta pereților. Rolul principal al contravîntuirilor este acela de a primi forțele transversale structurii de rezistență și de a le transmite pe linia stîlpilor longitudinali; un alt rol important al contravîntuirilor este de a crea puncte fixe pentru unele elemente ale structurii de rezistență.

În general se prevăd *contravîntuiri orizontale transversale* și *contravîntuiri longitudinale* în șarpanta acoperișului (fig. V.3) și a luminătoarelor și contravîntuiri verticale pe șirurile de stîlpi (fig. V.4).

Unele din aceste contravîntuiri pot lipsi dacă rolul lor este asigurat de alte elemente ale construcției, cum ar fi acoperișurile în formă de șaibă, stîlpi care ar fi dimensionați să suporte și acțiunile dezvoltate în sens longitudinal halei.

Șarpanta pereților are rolul să susțină elementele de închidere laterală ale halelor; se alcătuiește o șarpantă pentru pereți dacă aceștia sînt așezați la oarecare distanță de stîlpii structurii de rezistență, pentru frontoanele halei și în diferite alte situații.

Fundațiile stîlpilor halelor sînt elemente care trebuie considerate că fac parte din ansamblul construcției halei. Structura metalică și fundațiile halei se influențează reciproc.

b. Hale cu mijloace de ridicare și transport

La aceste hale metalice industriale se întîlnesc aceleași elemente ca și la construcțiile halelor metalice fără mijloace de ridicare și transport, în general mai dezvoltate și cu unele elemente în plus, impuse de existența mijloacelor de ridicare și transport.

În cazul cînd în hală sînt poduri rulante care circulă pe căi montate pe grinzi susținute de stîlpii halei, stîlpii au forme corespunzătoare acestei situații; în plus, în general au grinzi orizontale de frînare, care pot îndeplini și rolul de contravîntuiri longitudinale la nivelul căii grinzii de rulare. Dacă

mijloacele de ridicare și transport circulă pe grinzi suspendate de șarpanta acoperișului, apare necesitatea prevederii unor contravîntuiri care să transmită acțiunile provenite de la mijloacele de ridicare și transport la contravîntuirile generale ale halei, la stîlpi etc.

Cînd există poduri rulante și macarale în console, care circulă pe grinzi susținute de stîlpi, sub grinzile căilor de rulare se prevăd *portale de frînare*, care iau forțele de frînare longitudinale și le transmit la fundații.

În general, contravîntuirile sînt mai dezvoltate decît la halele fără mijloace de ridicare și transport și sînt alcătuite și așezate în funcție de valoarea acțiunilor produse de funcționarea podurilor rulante și de regimul de lucru al acestora.

Platforme și scări de acces la grinzile căilor podurilor rulante sau la diferite instalații care sînt susținute de construcția halei; unele din acestea pot avea și alte roluri, cum ar fi participarea la rigidizarea halei și la asigurarea conlucrării spațiale.

c. Elemente care asigură conlucrarea spațială

Construcția metalică a unei hale industriale are în general o comportare spațială la care, într-o oarecare măsură, participă toate elementele componente ale construcției.

Se pune problema ca această conlucrare să fie organizată și folosită la proiectare în modul cel mai rațional.

Elementele care contribuie în general și în diferite moduri la conlucrarea spațială sînt:

— contravîntuirile din planul acoperișului transversale halei, care se dimensionează în acest scop;

— contravîntuirile longitudinale orizontale din planul acoperișului, care obișnuit se dimensionează cu luarea în considerare a unor participări la conlucrare;

— contravîntuirile verticale de pe șirurile longitudinale ale stîlpilor de asemenea luate în considerare la proiectare;

— în diferite situații se mai ține seama de legăturile unor elemente de învelitoare, cînd poate fi considerată ca o șaibă, de grinzile orizontale de la nivelul grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante și altele.

Organizarea conlucrării spațiale are scopul de a folosi elemente existente în construcția unei hale metalice, de a le alcătui și dezvolta astfel încît să se asigure anumite forme de conlucrare. Astfel, de exemplu, la halele cu poduri rulante, pentru unele poziții ale acestora, un cadru transversal poate fi solicitat mai mult decît cadrele transversale vecine. Dacă stîlpii halei au înălțimi mari și calea grinzilor de rulare ale podurilor rulante este prea sus, fără asigurarea participării mai multor cadre transversale la solicitările rezultate din diferite poziții ale podurilor rulante, se poate ajunge la stîlpi cu forme și dimensiuni neacceptabile și neeconomice.

Prin folosirea unor elemente care asigură o conlucrare spațială eficace se obține o construcție cu o bună comportare în exploatare, cu o alcătuire mai rațională și mai economică.

Elementele mai des folosite în acest scop sînt:

— contravîntuirile orizontale longitudinale din planul acoperișului, dezvoltate și alcătuite în mod corespunzător; acestea pot fi reduse sau chiar suprimate cînd învelitoarea este astfel alcătuită încît poate avea un rol de șaibă;

— grinzile de frînare, realizate ca grinzi continue, pot avea o contribuție la realizarea comportării spațiale;

— contravîntuirile verticale de pe șirurile longitudinale ale stîlpilor.

Efectele în fenomenul de conlucrare al acestor elemente sînt diferite și, după cazuri, eficacitatea unora poate fi mai redusă decît a altora.

Este necesar să se examineze atent ce efecte se urmărește să se realizeze prin conlucrare în cazul unei construcții anumite și să se adopte soluția cea mai potrivită scopului urmărit. Efectele conlucrării trebuie determinate prin calcul de conlucrare; elementele care se prevăd pentru asigurarea conlucrării vor fi alcătuite și dimensionate corespunzător solicitărilor ce le revin. În cazul asigurării conlucrării cadrelor transversale, folosindu-se o contravîntuire longitudinală la nivelul acoperișului, o soluție rațională și economică se obține cu un anumit raport între rigiditatea contravîntuirii și a cadrului transversal; aceasta impune să se facă și o eventuală retușare a dimensiunilor și a alcătuirii cadrelor transversale.

Odată ales mijlocul prin care se asigură conlucrarea spațială urmărită, este recomandabil să se vadă în ce măsură alte elemente ale construcției pot aduce un aport sensibil în conlucrare.

Pentru realizarea comportării spațiale a unei hale metalice industriale proiectantul dispune de mai multe mijloace și posibilități; este necesar să aleagă pe acelea care corespund mai bine construcției pe care o proiectează.

VI. Construcția șarpantei și acoperișurile halelor

1. Șarpanta acoperișului

a. Forme și elemente generale

Construcția metalică a acoperișului unei hale industriale are forme și alcătuiri variate, determinate de diferite elemente ca: distanțele dintre cadrele transversale, natura materialelor folosite pentru învelitoare, forma și dezvoltarea luminătoarelor, construcțiile sistemelor de aerisire așezate pe acoperiș și altele.

Cea mai simplă rezolvare, care poate fi acceptată cînd distanța între structurile de rezistență transversale nu este prea mare, constă în așezarea elementelor învelitorii direct pe cadrele transversale; elementele învelitorii sînt prefabricate și pot avea deschideri între 6 și 12 m.

O altă soluție constă în prevederea unor pane care reazemă pe structurile de rezistență transversale; pe aceste pane se așază elementele învelitorii. Cînd distanța între cadrele transversale este mare, se introduc elemente intermediare (ferme, rigle), care la rîndul lor reazemă pe grinzi longitudinale. Soluția apare necesară în special cînd pe unele șiruri de stîlpi sînt distanțe diferite, multiplu unui modul (6 sau 12 m); șarpanta acoperișului capătă astfel o formă regulată.

În alte situații construcția șarpantei acoperișului capătă forme mai complicate, impuse și din alte considerații.

La alcătuirea șarpantei acoperișului se are de asemenea în vedere unificarea elementelor învelitorii, a panelor și a contravîntuirilor; în acest scop se alege un modul al șarpantei acoperișului, care se corelează cu rețeaua modulară a ansamblului construcției.

b. Forme impuse de modul de iluminare și aerisire

Forma și alcătuirea șarpantei metalice a acoperișului halelor industriale este sensibil influențată de modul cum se face iluminarea naturală și aerisirea halelor, în special cînd lățimea acestora este mare.

Construcțiile luminătoarelor pot fi așezate longitudinal sau transversal halelor.

Așezarea transversală a luminătoarelor este indicată în cazul halelor cu lățime mare, la care scurgerea apelor se face la exterior sau care au deschideri mari și scurgere interioară (fig. VI.1, *a—c*). Se poate obține o ilumi-

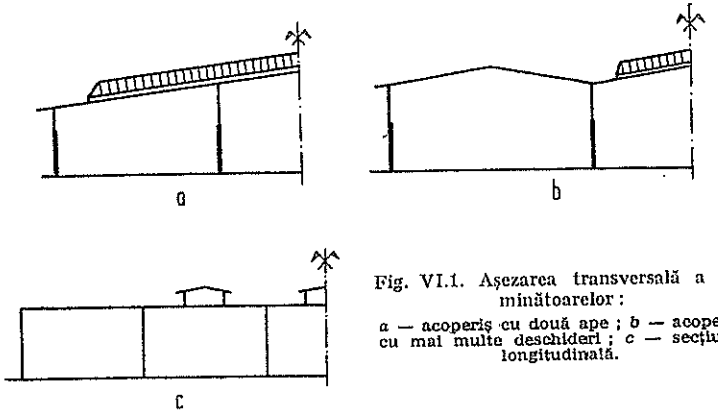


Fig. VI.1. Așezarea transversală a luminătoarelor:
a — acoperiș cu două ape; *b* — acoperiș cu mai multe deschideri; *c* — secțiune longitudinală.

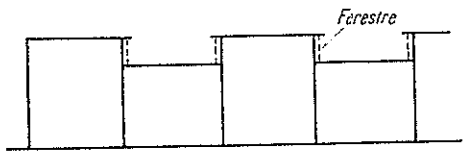


Fig. VI.2. Așezarea panelor alternativ la talpa superioară și inferioară a fermelor.

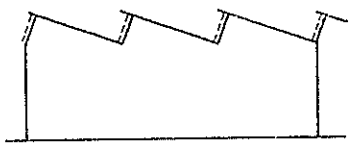


Fig. VI.3. Iluminarea prin ședuri.

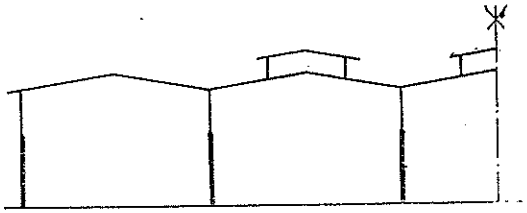


Fig. VI.4. Luminătoare longitudinale.

nare bună, așezîndu-se panele acoperișului alternativ la partea superioară, respectiv la partea inferioară a fermelor cadrului transversal (fig. VI.2); pe părțile laterale ale fermelor se prevăd geamuri fixe sau mobile.

O altă soluție constă în folosirea acoperișurilor în formă de ședuri (fig.VI.3), care, orientate favorabil, asigură în interior o iluminare naturală plăcută și destul de uniformă.

Așezarea longitudinală a luminătoarelor este soluția cea mai răspîndită pentru halele cu mai multe deschideri (fig. VI.4). Luminătoarele se așază în zona centrală a deschiderii; în deschiderile de margine se poate renunța la luminătoare, dacă se poate asigura iluminarea prin pereții laterali.

O soluție folosită la hale cu travee și luminătoare mari constă în prevederea unor grinzi longitudinale în ferestrele luminătorului, rezemate pe cadrele de rezistență transversale și care susțin luminătorul. În această situație, panele se pot așeza transversal deschiderii, rezemate pe talpa inferioară a grinzii longitudinale de pe șirurile longitudinale de stîlpi (fig. VI.5).

În unele situații, pentru iluminarea pe sus a halelor se folosesc fîșii sau cupole din materiale plastice transparente.

Aerisirea naturală a halelor se poate face cu ajutorul lanternourilor

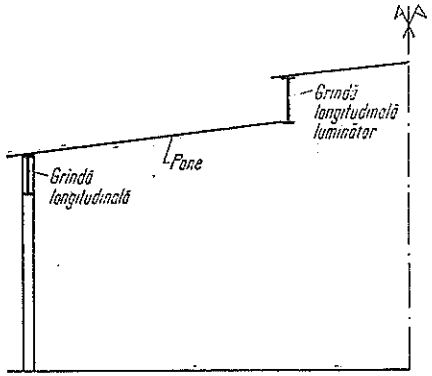


Fig. VI.5. Luminător longitudinal susținut pe grindă longitudinală.

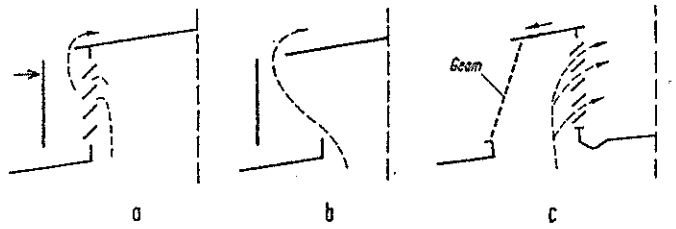


Fig. VI.6. Construcție pentru aerisire combinată cu sisteme de iluminare.

care servesc pentru iluminare, prevăzîndu-se porțiuni de geamuri care se pot deschide; în alte cazuri, construcțiile pentru aerisire, avînd și rol de iluminare, capătă forme speciale în scopul de a se obține o aerisire mai bună (fig. VI.6).

Construcțiile pentru aerisire, așezate ca și luminătoarele longitudinale, pot fi cu fișii de sticlă articulate care se închid și se deschid după necesitate (fig. VI.6, *a*) sau fără geamuri (fig. VI.6, *b*); cînd este necesară o aerisire mai intensă, asemenea construcții au la oarecare distanță paravane, care împiedică aerul să intre în interior cînd bate vîntul.

O altă soluție este cea din fig. VI.6, *c*.

2. Considerații asupra învelitorilor

a. Rolul învelitorilor

Învelitorile, în cazul halelor industriale, constituie de regulă singurul element din construcție care închide hala la partea superioară.

Rolul lor principal este acela de a împiedica pătrunderea apelor din intemperii în interior și de a suporta acțiunile produse de zăpadă, vînt și din încărcarea cu oameni care se urcă pe acoperiș pentru reparații și întreținere. În unele cazuri este necesar ca învelitoarea să asigure și o anumită izolare termică.

În cazul halelor metalice este indicat să se folosească învelitori ușoare care cer înclinări mici. Izolarea termică poate fi impusă din diferite motive: necesitatea evitării pierderilor mari de căldură la halele încălzite, înlăturarea pericolului de condensare cînd în hală există o umiditate ridicată și uneori din necesitatea de a se menține la interior o temperatură între anumite limite, cerută de tehnologie. În toate aceste cazuri sistemul de izolare se alege și se execută după o analiză corespunzătoare a situației și scopului urmărit. În afara condițiilor cerute de buna desfășurare a proceselor de producție, apar și altele rezultate din necesitatea bunei desfășurări a activității omului, adică de a se asigura în interiorul halei un climat industrial, care să fie cît mai

apropiat de climatul natural normal; între altele acest climat este influențat în principal de temperatură, umiditate și aerisire. Asupra acestor elemente se poate acționa în mai multe moduri, din care unele se referă la rezolvarea constructivă, adoptîndu-se soluții care să contribuie la asigurarea condițiilor corespunzătoare de temperatură, umiditate și aerisire.

b. Alcătuirea învelitorilor halelor

Învelitorile halelor metalice se recomandă să fie ușoare, pentru a se evita încărcarea exagerată a șarpantei acoperișului și, ca urmare, a cadrelor transversale. Se pot realiza învelitori neizolate termic cu o greutate permanentă de 2—25 kg/m² și izolate termic cu o greutate de 30—50 kg/m².

Învelitorile ușoare se pot confecționa din *table ondulate* sau *cutate* din oțel zincate sau din aluminiu. Tablele se înnădesc în sens transversal pantei acoperișului, înnădirea făcîndu-se în dreptul unei pane prin petrecerea tablelor (fig. VI.7). Petrecerea tablelor se face pe o lungime de la 120 la 200 mm, după mărimea înclinării învelitorii. Prinderea tablelor se face la partea superioară a undelor cu nituri zincate de 6 mm diametru bătute la rece și prevăzute sub capete cu șaibe galvanizate; în prezent se folosesc și alte prinderi executate cu dispozitive speciale. Prinderea tablelor de pane se face în general cu agrafe (fig. VI.7, *a*) sau cu nituri montate prin împușcare; la hale, care au în pereți sau luminătoare goluri mari, se prevăd, îndeosebi în apropierea streșinii și luminătoarelor cîrlige din oțel galvanizate, așezate la aproximativ două foi (fig. VI.7, *b*). Dacă în dreptul panelor nu sînt înnădiri, tablele se prind de pane ca și în dreptul înnădirilor.

În lungul pantei fîșiile de table se înnădesc prin petrecere cu nituri (fig. VI.8).

În cazul tablelor din aluminiu sau din aliaje de aluminiu, panele din oțel au fața superioară pe care reazemă tablele acoperite cu cadmiu, spre

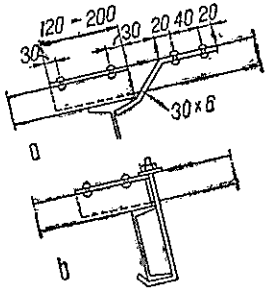


Fig. VI.7. Înnădirea și prinderea tablelor ondulate și cutate.

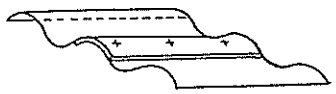


Fig. VI.8. Înnădire longitudinală.

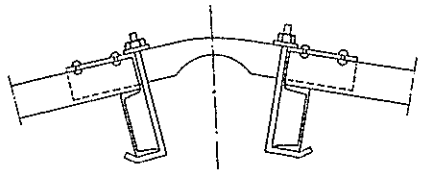


Fig. VI.9. Prinderea tablelor la coamă.

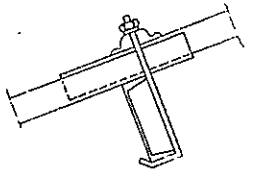


Fig. VI.10. Așezarea tablelor de azbociment.

a se evita coroziunea tablelor care are loc la contactul direct cu panele din oțel. Prinderea tablelor de pane se face în același mod ca și la cele din oțel.

La coama acoperișului, pentru închidere, se așază o bucată de tablă ondulată sau cutată, care se îndoaie și se prinde de tablele de pe cele două părți ale acoperișului (fig. VI.9).

Învelitori ușoare, îndeosebi la halele fără mijloace de ridicare și transport sau cînd asemenea mijloace există și regimul este ușor sau mediu, se pot face din *azbociment ondulat*. Plăcile ondulate de azbociment se prind de pane cu cîrlige; la partea superioară se prevede o căciulă de tablă galvanizată, cîrligele strîngîndu-se puțin, deoarece plăcile crapă ușor (fig. VI.10). La petrecerile transversale și în lungul pantei plăcile nu se prind între ele. Învelitorile cu plăci ondulate din azbociment cer înclinări mari (în general peste 25%); deoarece între plăci, la petrecerea transversală, rămîn unele spații, apare deseori necesitatea ca acestea să fie umplute cu un chit elastic.

Învelitorile izolate termic se execută în moduri variate; în principiu, folosindu-se tabla ondulată sau cutată ca element de rezistență al învelitorii, izolarea termică se poate așeza peste tablă sau sub aceasta (fig. VI.11).

În primul caz, peste tabla cutată se așază o barieră de vapori formată din unul sau două straturi de carton bituminat și peste aceasta stratul de izolare termică; izolarea hidrofugă este alcătuită din 3—5 foi de carton bituminat și pînze, lipite cu bitum. Materialul folosit ca izolare termică trebuie să fie suficient de rigid pentru a putea servi ca suport pentru izolarea hidrofugă (fig. VI.11, *a*). Diferitele straturi trebuie să fie bine lipite și prinse unele de altele și de suport pentru a nu fi smulse de vînt. Izolarea se poate

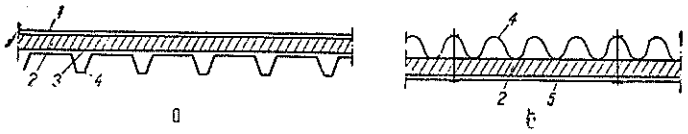


Fig. VI.11. Învelitori izolate termic:
a — izolație deasupra tablei; *b* — izolație sub tablă; *1* — izolare hidrofugă; *2* — izolare termică; *3* — barieră de vapori; *4* — tablă; *5* — placă de acoperire.

așeza sub tabla ondulată sau cutată; la fața interioară se poate prevedea o placă formată din tablă de aluminiu sau material plastic, eventual perforate (fig. VI.11, *b*).

Învelitorile grele se execută cu plăci de beton armat, pline sau cu goluri, așezate pe pane; în unele cazuri se utilizează elemente din beton armat de 12 m lungime, cu două nervuri (secțiune în II), care se așază direct pe cadrele transversale.

Izolarea hidrofugă se face cu carton și pînze. Cînd se cere și izolare termică, stratul de izolare hidrofugă se așază peste stratul de izolare termică. Plăcile de beton armat trebuie să fie bine prinse de pane sau de riglele cadrelor transversale. Învelitorile grele nu este recomandabil să fie folosite pentru acoperirea halelor cu structură metalică.

Se pot executa *învelitori semigrele*, folosindu-se plăci din beton ușor, armate, care asigură și o izolare termică; izolarea hidrofugă se face ca și la învelitorile grele. Plăcile din beton armat autoclavizat, folosite des în cazul halelor cu structură de beton armat, se utilizează uneori și la halele cu structură metalică; sînt necesare în acest caz o serie de măsuri care să asigure buna rezemare a plăcilor pe pane și prinderea acestora de pane și între ele. Aceste învelitori nu este indicat să fie folosite la halele metalice, cu solicitări dinamice, din cauza rezistenței slabe a betonului autoclavizat; se poate accepta utilizarea lor dacă peste plăcile de beton armat autoclavizat se așază o șapă de beton armat cu o rețea de bare rotunde din oțel, strat bine solidarizat cu plăcile de beton armat autoclavizat și legat de pane.

Învelitorile din plăci de beton autoclavizat nu este recomandabil să fie folosite la halele cu umiditate ridicată, deoarece vaporii de apă pătrund în betonul poros, armăturile, dacă nu sînt bine protejate, ruginesc și betonul se distruge.

3. Construcția luminătoarelor

a. Luminătoare cu ferestre fixe

Sînt situații cînd construcțiile luminătoarelor sînt prevăzute cu ferestre fixe, aerisirea fiind asigurată prin alte mijloace, cum ar fi construcții pentru aerisire independente de luminătoare sau prin diferite instalații de ventilare.

Construcția luminătoarelor cu ferestre fixe poate avea forme diferite (fig. VI.12), cu geamurile înclinate sau verticale. În cazurile cînd geamurile sînt înclinate, înclinarea trebuie să fie mai mare decît 30°, pentru ca picăturile de apă care se formează la partea interioară să nu se desprindă de geamuri.

Geamurile luminătoarelor sînt de regulă armate.

Luminătoarele cu geamuri înclinate se murdăresc ușor și cer o întreținere mai costisitoare decît cele cu geamuri verticale.

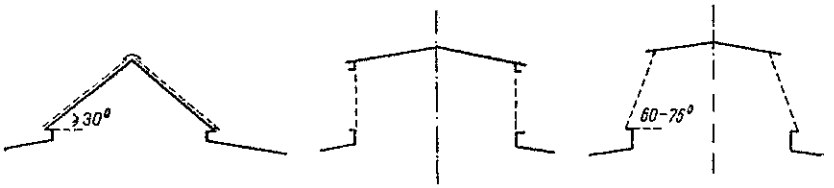


Fig. VI.12. Luminătoare cu geamuri fixe.

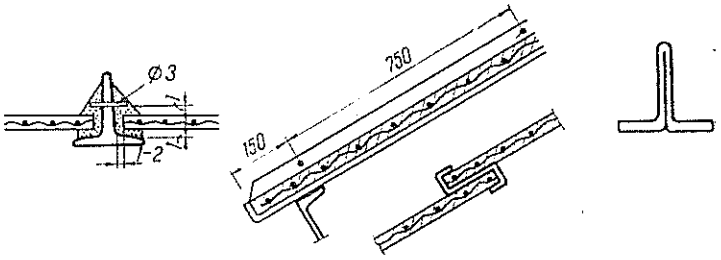


Fig. VI.13. Geamuri fixate cu chit.

La ferestrele înclinate, geamurile se fixează pe șprosuri metalice cu chit sau fără chit. La fixarea cu chit, geamurile se așază pe profilul metalic peste un strat de chit, folosindu-se știfturi metalice, înglobate în chit (fig. VI.13); cînd lungimea șprosurilor este mare, se folosesc geamuri mai scurte care se petrec, partea de sus a geamurilor fiind ținută cu agrafe de tablă zincată.

Șprosurile sînt din profile T formate la rece sau laminate la cald.

Fixarea fără chit se face folosind șprosuri din tablă formate la rece sau profile speciale laminate la cald (fig. VI.14). Geamurile armate se așază pe fîșii de pîslă gudronată sau pe carton bituminat gros; peste geamuri se așază o bandă de carton bituminat, care acoperă intervalul dintre geamuri. Geamurile sînt fixate cu ajutorul unei piese îndoite din tablă dură galvanizată de 1,0—1,5 mm grosime, care este menținută strîns cu ajutorul unor șuruburi cu piulițe de bronz; șuruburile se așază la distanțe de circa 750 mm.

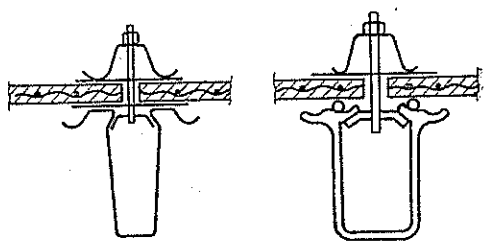


Fig. VI.14. Geamuri fixate fără chit.

La luminătoarele cu ferestre verticale fixe, fixarea geamurilor se face în general cu chit; există și soluții de fixare cu benzi de cauciuc și baghete metalice, ca la ferestrele fixe obișnuite.

În categoria luminătoarelor cu ferestre fixe intră și sistemele de iluminare prin acoperiș care folosesc materiale plastice transparente, cum sînt plăcile ondulate cu forme și dimensiuni ca cele din oțel și pe care le pot înlocui pe anumite zone. În locul luminătoarelor, în diferite cazuri pot fi folosite elemente în formă de bolți sau cupole, executate din materiale plastice transparente.

b. Luminătoare cu ferestre mobile

Luminătoarele cu ferestre mobile servesc în același timp pentru iluminare naturală și aerisire. Părți mobile se prevăd în general la luminătoare cu ferestre verticale.

Părțile mobile ale ferestrelor se execută din metal cu rame și șprosuri din profile cu pereți subțiri formate la rece; în general lungimea unei rame este de 6,00 m și înălțimea pînă la 2,50 m; distanța dintre șprosuri, geamurile fiind armate, se ia 0,75 m. Cînd sînt necesare ferestre cu înălțime mai mare ca 2,50 m, se prevăd ferestre mobile suprapuse (fig. VI.15).

Fixarea geamurilor se face cu chit și șplinturi sau mai bine cu cauciuc și baghete.

Părțile mobile ale ferestrelor se deschid sau se închid în funcție de necesități, pe diferite lungimi; manevrarea se face din hală cu dispozitive manuale sau electrice.

În scopul de a se ușura curățarea geamurilor la hale mari se prevăd uneori la interiorul luminătoarelor platforme mobile, care se deplasează pe căi fixate de elementele scheletului luminătorului.

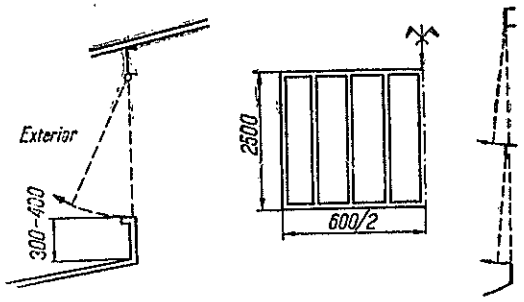


Fig. VI.15. Ferestre mobile.

4. Rolul panelor în șarpanta acoperișului

a. Considerații generale

În șarpanta acoperișului penele au de îndeplinit mai multe funcțiuni. Una din aceste funcțiuni este aceea de a asigura reazeme pentru elementele învelitorii; ca urmare, acestea suportă încărcările provenite de la învelitori și pe cele pe care le suportă învelitoarea (zăpadă, vînt, oameni), pe care le transmite structurilor transversale direct sau uneori prin alte elemente intermediare, după modul cum este alcătuită șarpanta acoperișului.

Un alt rol important este de a lega riglele cadrelor sau tălpile superioare ale fermelor structurilor transversale de contravîntuirile șarpantei acoperișului; prin aceste legături se reduce lungimea de flambaj a tălpilor superioare ale fermelor sau riglelor și se asigură o bună rigiditate a șarpantei acoperișului. Unele pane mai au și alte roluri; pot susține construcția luminătoarelor transversale sau longitudinale, după modul de așezare și rezolvare constructivă a acestora; alte pane intră în construcția contravîntuirilor longitudinale și primesc solicitări suplimentare, care pot fi importante, îndeosebi în cazul cînd aceste contravîntuiri au rolul de a asigura și comportarea spațială. Panele se alcătuiesc ținîndu-se seama și de aceste situații.

Elementele învelitorii trebuie să fie bine așezate pe talpa superioară a panelor; în acest scop este indicat să se așeze panele astfel încît talpa superioară să aibă înclinarea învelitorii, ceea ce se obține prin alcătuirea secțiunii panei sau prin modul de așezare. Pentru o bună așezare a elementelor învelitorii, lățimea tălpii panei trebuie să fie suficient de mare, în special în cazul cînd elementele învelitorii sînt din prefabricate de beton armat; în cazul plăcilor din beton armat autoclavizat talpa panei trebuie să asigure o lățime de rezemare de cel puțin 7 cm pentru fiecare placă.

b. Alcătuirea și așezarea panelor

Panele pot fi alcătuite din profile laminate U sau dublu T, din elemente dublu T sudate sau pot fi cu zăbrele, după distanța dintre elementele care susțin panele. Panele din elemente laminate se folosesc cînd distanța între reazeme este de 7,50 la 9,00 m, mai rar pînă la 12 m, deoarece consumul de metal dat de pane devine mare; acest consum și deci și deschiderea panelor mai depinde și de greutatea învelitorii. Din punct de vedere static panele pot fi simplu rezemate pe fiecare deschidere sau continue. Panele așezate pe fiecare deschidere cer mai puțină manoperă la montaj, dar sînt mai puțin economice decît cele continue. Panele continue se înnădesc la montaj, pentru continuitate, după modul cum sînt alcătuite; panele continue cu secțiune plină așezate deasupra riglelor sau tălpilor fermelor se înnădesc în afara reazemelor în zonele în care momentele sînt minime.

Astăzi sînt deseori folosite pane din profile dublu T laminate cu goluri pe inimă, care, dacă sînt uzinate folosind instalații mecanizate, sînt economice. Pot fi utilizate și în cazul unor deschideri mai mari decît 12 m (fig. VI.16). În mod obișnuit au lungimi egale cu deschiderea lor și sînt simplu rezemate ; pot fi eventual și continue, înnădindu-se pe reazem ; în acest caz însă, este necesar ca unul pînă la trei goluri de o parte și de alta a reazemelor să fie pline.

La executarea acestor grinzi cu goluri pe inimă este recomandabil să fie respectate unele reguli, și anume : tăierea profilului să se facă cu grije, folosind dispozitive automate ; în zona colțurilor, unde apar concentrări de eforturi, marginile vor fi curățate de zgură, de neregularități și de orice defecte din tăiere. Este de asemenea bine ca forma golurilor să fie practic exagonală și între tălpi și marginea golului de pe inimă să rămînă plinuri egale aproximativ cu o treime din înălțimea profilului laminat.

Se pot folosi pane cu secțiuni pline din profile cu pereți subțiri formate la rece, îndeosebi în cazul învelitorilor ușoare.

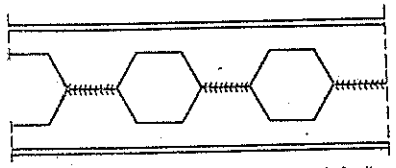
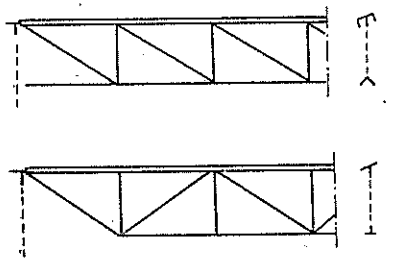


Fig. VI.16. Pane cu goluri pe inimă.



Fg. VI.17. Pane cu zăbrele.

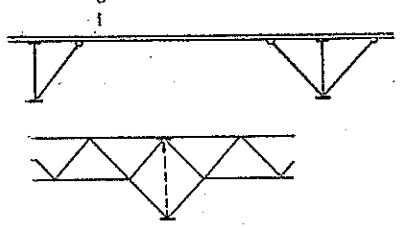


Fig. VI.18. Pane cu contrafișe.

În cazul cînd deschiderea este mare, consumul de metal este mai redus la panele cu zăbrele. Panele cu zăbrele se fac din profile laminate la cald sau confecționate din tablă subțire formate la rece (fig. VI.17). Tălpile superioare pot fi din profile U sau T, talpa inferioară dintr-o cornieră sau profil T, iar zăbrelele din corniere, eventual o singură cornieră, sau din țevi.

Distanța între reazemele panelor cu zăbrele poate fi de la 12 la 18 m.

În cazul distanțelor mari între reazemele panelor și în cazul unor învelitori grele poate apărea avantajoasă folosirea panelor cu contrafișe (fig. VI.18). Se pot folosi pane cu secțiune plină sau pane cu zăbrele ; pe reazeme panele sînt prinse articulat. Panele cu contrafișe contribuie la asigurarea stabilității fermelor sau riglelor structurilor transversale.

Panele pot fi așezate la talpa inferioară a fermelor și legate prin tiranți de talpa superioară ; în acest caz, în planul tiranților se amenajează luminătoare triunghiulare (fig. VI.19).

Fig. VI.19. Pane cu tiranți.

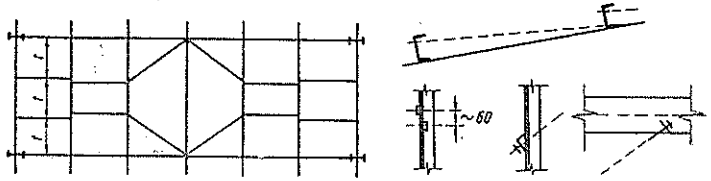


Fig. VI.20. Legăturile panelor în planul învelitorilor.

Panele cu deschiderea mai mare ca 6 m au tendința de a se încovoia în planul învelitorii, dacă elementele învelitorii nu o pot împiedica ; de asemenea, în timpul montajului, sub încărcarea dată de oameni și de elementele învelitorii, există pericolul ca pana să-și piardă stabilitatea prin flambajul lateral al tălpii superioare.

Se evită acest fenomen dacă în planul învelitorii se introduc una sau două legături, după mărimea deschiderii panei (fig. VI.20). Tiranții de legătură se fac din bare rotunde cu diametrul de la 12 la 14 mm și se montează din bucăți separate pe fiecare interval dintre două pane ; la cele două capete au cîte o piuliță, care la montaj se strînge foarte bine, astfel ca tirantul să fie suficient întins ; tiranții care prezintă îndoituri sau nu sînt bine întinși nu-și îndeplinesc rolul pentru care sînt prevăzuți.

Așezarea panelor se face obișnuit prin rezemare pe talpa superioară a fermelor sau riglelor cadrului transversal.

Panele cu secțiune plină U sau dublu T se prind obișnuit de scaune cu șuruburi ; scaunele împiedică și răsturnarea panelor pe reazem (fig. VI.21) ; cînd panele sînt înalte și în special în cazul cînd scaunul este din platbandă

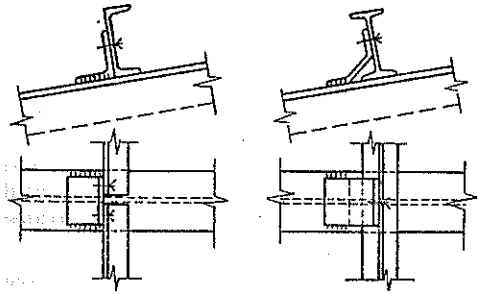


Fig. VI.21. Rezemarea panelor cu secțiune plină.

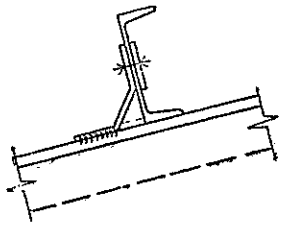


Fig. VI.22. Înnădirea panelor pe reazem.

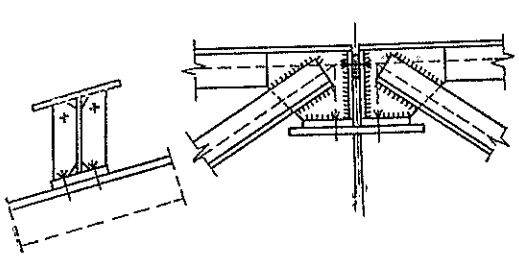


Fig. VI.23. Rezemarea panelor cu zăbrele.

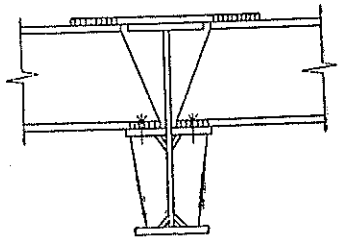


Fig. VI.24. Rezemarea panelor continue pe scaune.

îndoită este necesar să se prindă de fermă și talpa inferioară a panei prin sudură. În cazul cînd pana transmite unele eforturi axiale este necesară o înnădire pe reazeme, acolo unde penele sînt întrerupte ; înnădirea se face prevăzînd o eclisă pe partea opusă scaunului (fig. VI.22).

Panele cu zăbrele se așază în poziție verticală și reazemă pe talpa superioară a fermelor sau riglelor cadrului transversal, folosindu-se eventual scaune (fig. VI.23).

Panele cu contrafișe este necesar să fie prinse pe reazeme cu șuruburi sau sudură la valoarea reacțiunii negative care se dezvoltă în acest caz pe reazeme.

Cînd rigla cadrului are o secțiune în dublu T, panele pot să rezeme pe scaune (fig. VI.24).

c. Problema dimensionării panelor

Încărcările transmise panelor de elementele învelitorii dau în general și componente în planul învelitorii, astfel că pana este solicitată de o forță în planul inimii și de alta în plan transversal. După modul cum este realizat ansamblul învelitoare-pană, forța transversală poate fi luată de învelitoare sau nu.

În cazul cînd forța transversală este luată de învelitoare, pana se dimensionează la componenta din planul inimii ; în caz contrar, la panele fără tiranți, se ia în considerare la dimensionare și componenta transversală panei, ceea ce în cele mai multe cazuri este neeconomic.

În cazul panelor cu tiranți în planul învelitorii se ia în considerare și componenta din planul învelitorii, admițînd reazeme elastice în dreptul tiranților ; practic se poate considera că deschiderea de calcul în sens transversal panei este $l_t = 1{,}3\ l$, l fiind distanța dintre tiranți.

Panele continue cu deschideri egale și cu secțiune constantă, încărcarea fiind aceeași pe toate deschiderile, se pot dimensiona considerînd egale momentele pe reazeme și pe deschiderile interioare (fig. VI.25, *a*) ; rezultă în acest

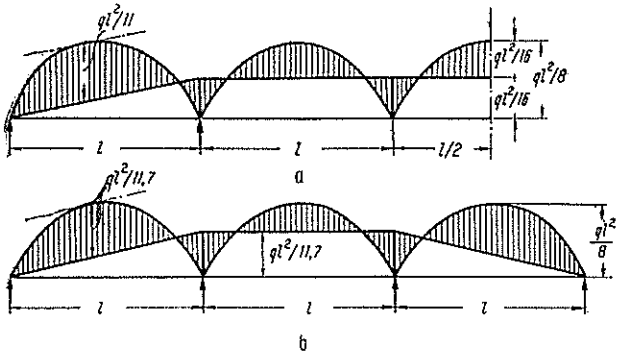


Fig. VI.25. Diagrama momentelor la o pană continuă cu secțiune constantă.

caz momente $M = ql^2/11$ în deschiderile de margine și $M = ql^2/16$ în deschiderile interioare ; prin aceasta se ia în considerare dezvoltarea deformațiilor plastice.

Este necesar ca deschiderile de margine să se consolideze dacă se ia aceeași secțiune pe toate deschiderile ; este posibil, cînd pana are multe deschideri, să se adopte secțiuni diferite pe deschiderile de margine și cele centrale. Dacă panele au numai trei deschideri, este indicat să se egaleze momentele de pe deschiderile de margine cu cele de pe reazeme (fig. VI.25, *b*), modificîndu-se eventual secțiunea panei pe deschiderea centrală ; înnădirea panei se va face în afara reazemelor la o distanță egală cu aproximativ $0{,}2\ l$.

Problemele referitoare la componentele din planul acoperișului se iau în considerare ca la grinzile simplu rezemate ; pentru componentele transversale, pana se consideră simplu rezemată pe reazeme.

Panele cu contrafișe sînt static nedeterminate. Se execută și se consideră articulate pe fiecare deschidere și rezemate pe contrafișe. În fig. VI.26 este arătată diagrama momentelor la panele cu contrafișe. Valoarea reacțiunilor V_1, V_2 . . . și a momentelor încovoietoare pentru o încărcare uniformă oarecare depinde de raportul a/l. Distribuția momentelor este cu atît mai avantajoasă cu cît raportul a/l este mai mare ; un raport prea mare nu este avantajos, deoarece conduce la contrafișe prea lungi.

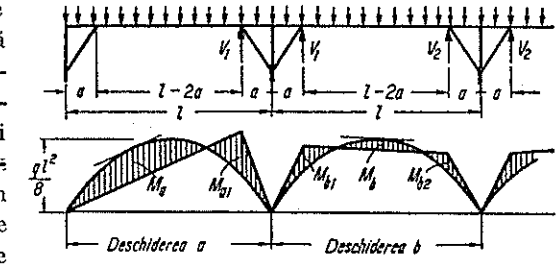


Fig. VI.26. Diagrama de momente la pane cu contrafișe.

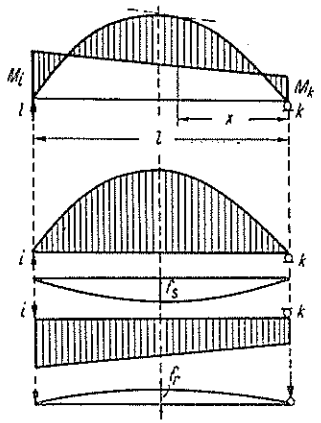


Fig. VI.27. Elemente pentru calculul săgeților panelor.

d. Săgeata panelor

Săgeata panelor se determină în domeniul elastic pe baza încărcărilor normate.

La panele simplu rezemate supuse la încărcări uniform distribuite săgeata maximă este

$$f = \frac{5}{48} \cdot \frac{Ml^2}{EI} \qquad \text{(VI.1)}$$

La grinzile continue săgeata se determină considerînd porțiunea dintre două reazeme vecine ca simplu rezemată; din încărcarea q uniform distribuită pe grinda simplu rezemată rezultă săgeata f_s; considerînd aceeași grindă încărcată pe reazeme cu momentele M_i și M_k se obține în același punct săgeata f_r (fig. VI.27); săgeata panei în deschiderea respectivă este $f = f_s - f_r$.

5. Măsuri constructive pentru scurgerea apelor

a. Scurgerea exterioară

Scurgerea apelor de pe acoperișul halelor se poate face numai la exterior pe marginile laterale cînd acoperișul are o singură pantă sau două fără denivelări; scurgerea apelor la acoperișurile în formă de ședuri poate fi făcută pe la capetele ședurilor, dacă lățimea halei nu este prea mare. În general scurgerea se face prin burlane, apele fiind colectate de pe acoperiș în jgheaburi. Jgheaburile se fac din tablă zincată susținute cu cîrlige din oțel zincat (fig. VI.28, *a*) sau din elemente de beton armat prefabricate (fig. VI.28, *b*). Tabla jgheaburilor metalice nu se leagă fix de elementele învelitorilor, pentru a se putea deforma independent de acestea; la rosturile halelor se prevăd rosturi și în jgheaburi.

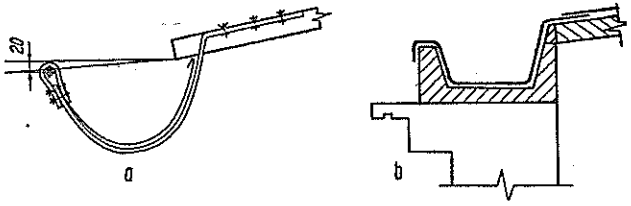


Fig. VI.28. Jgheaburi exterioare.

Burlanele se confecționează din tablă zincată, din tuburi de azbociment, din tuburi de bazalt și uneori din tuburi de fontă. Secțiunea jgheaburilor și a burlanelor se determină în raport cu suprafața de acoperiș de pe care colectează apele; în mod obișnuit se admite pentru un metru pătrat de acoperiș 1 cm² de suprafață pentru jgheaburi și 0,75 cm² pentru burlane. La un burlan se poate admite o suprafață de acoperiș de la 300 la 600 m² după regimul ploilor din zona respectivă. Jgheaburile se montează de regulă la exteriorul halei, apa căzînd liberă pe trotuar, sau se leagă la canal: sînt cazuri, la halele încălzite, cum ar fi cazul așezării jgheaburilor ca în fig. VI.28, *b*, cînd burlanele se prevăd la interior și se leagă la canal. Jgheaburile care se leagă la canalizare nu se recomandă să se confecționeze din tablă de oțel zincată, deoarece se distrug în timp scurt, din cauza emanațiilor corosive din canal.

Jgheaburi exterioare se prevăd și la luminătoarele cu ferestre verticale, cînd lățimea și înălțimea acestora sînt mari.

La halele din zonele cu praf industrial intens, care se depune pe acoperișuri, cum sînt de exemplu halele de turnare ale furnalelor, nu se prevăd jgheaburi.

b. Scurgeri interioare

La halele cu acoperișurile frînte sau cu denivelări, scurgerea apelor de pe acoperiș se face la exterior numai pe zonele laterale ale acoperișului; pe restul suprafeței scurgerea apelor se face la interior, prevăzîndu-se jgheaburi interioare și burlane de scurgere legate la canalizare.

Jgheaburile interioare se confecționează din tablă zincată sau din elemente de beton armat prefabricate (fig. VI.29). Jgheaburile din tablă se execută în cazul învelitorilor din tablă sau din azbociment (fig. VI.29, *a*); tabla jgheaburilor trebuie să fie independentă de învelitoare, pentru a se evita degradarea jgheaburilor din cauza deformațiilor diferite între jgheab și învelitoare. Se pot prevedea și jgheaburi din elemente prefabricate de beton armat. În cazul jgheaburilor din tablă este necesar să se monteze deasupra lor o pasarelă de protecție pe care să se poată circula, alcătuită astfel încît să permită scurgerea apelor de pe învelitoare. În cazul învelitorilor de beton armat, jgheaburile se fac de regulă din ele-

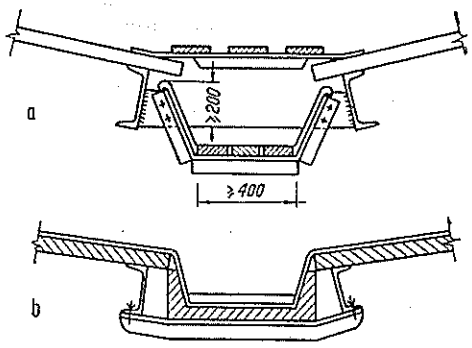


Fig. VI.29. Jgheaburi pentru scurgeri interioare.

mente de beton armat (fig. VI.29, *b*). La halele încălzite, izolate termic, jgheaburile nu se izolează sau primesc o izolație mai redusă, pentru ca zăpada din jgheaburi să se topească mai repede decît cea de pe învelitoare.

Secțiunea jgheaburilor interioare se determină practic luîndu-se 2 cm^2 secțiune pentru un metru pătrat de învelitoare de pe care se colectează apele. Jgheaburile au în lungul lor pante spre gurile de scurgere ; burlanele, fiind legate la canalizare, nu se pot executa din tablă de oțel galvanizată.

Gurile de scurgere la jgheaburile interioare din elemente de beton armat sînt alcătuite din piese metalice care permit o bună legătură cu izolarea hidrofugă a învelitorii și cu burlanele de scurgere ; gura de scurgere are o parte în formă de tub care pătrunde în burlanul de scurgere, astfel încît mișcările între burlan și învelitoare să fie libere. La partea superioară gurile de scurgere sînt acoperite cu grătare, care împiedică pătrunderea în burlane a unor corpuri sau frunze aduse de vînt.

VII. Alcătuirea structurii de rezistență a halelor metalice industriale

1. Posibilități de alcătuire

a. Considerații generale

Structura de rezistență a unei hale metalice industriale are în final o alcătuire spațială, avînd elemente principale dispuse atît în sens transversal cît și în sens longitudinal, cum și diferite alte legături și construcții ajutătoare care îi dau caracterul spațial. În cele ce urmează se va analiza problema separat după cum în ansamblul construcției are un rol principal structura transversală sau structura longitudinală.

În această analiză se are în vedere în primul rînd că structura de rezistență considerată trebuie să asigure rezistența și stabilitatea construcției, cu deformațiile permise de exploatare, admițînd și existența celeilalte structuri și a tuturor legăturilor dintre elementele ansamblului. Ca urmare, structura analizată trebuie să corespundă condițiilor de rezistență și stabilitate cerute oricărei structuri plane.

Asupra construcției unei hale industriale se manifestă diferite acțiuni, unele avînd direcții verticale, iar altele transversale sau longitudinale halei ; acțiunile cu direcții oarecare se pot descompune în componente după cele trei direcții.

Structurii de rezistență transversală îi corespund în general acțiunile orizontale predominante ; structura de rezistență transversală este situată

de regulă în sensul lățimii minime a halei. Sînt însă și situații cînd structura longitudinală capătă o formă predominantă, după cum se va arăta în cele ce urmează.

Valorile acțiunilor, natura lor și caracterul static sau dinamic au de asemenea influențe asupra alcătuirii structurilor de rezistență ; natura terenului și mai ales posibilitatea apariției unor tasări diferențiate pronunțate influențează alcătuirea constructivă a structurilor.

b. Structuri de rezistență transversale halei

Utilizarea structurilor de rezistență transversale constituie soluția cea mai generală în cazul halelor metalice industriale.

Aceste structuri suportă în condiții bune acțiunile a căror direcție corespunde planului în care se găsește structura, verticale, orizontale sau cu orice direcție în planul structurii.

Din punct de vedere constructiv, o structură de rezistență transversală este constituită de regulă din stîlpi și rigle, formate din ferme sau bare cu secțiune plină, care alcătuiesc cadre cu diferite legături între elementele cadrului și între stîlpi și fundație.

Din punct de vedere static cadrele transversale se alcătuiesc foarte variat. O formă este cea arătată în fig. VII.1, cînd legăturile la nodurile cadrelor sînt rigide și stîlpii încastrați în fundații. O asemenea soluție este în general avantajoasă din punct de vedere static, rezultînd o repartizare rațională a solicitărilor pe elementele cadrului. Sînt însă și situații cînd o asemenea schemă statică nu aduce avantaje sensibile ; astfel, dacă înălțimea stîlpilor este mare în raport cu deschiderea cadrului și secțiunea este variabilă pe înălțimea stîlpilor, partea superioară fiind puțin dezvoltată, legăturile rigide la noduri nu mai au un efect însemnat. În asemenea situații pot apărea mai avantajoase schemele din fig. VII.2, *a* sau *b*. Cînd însă pe cadru acționează la oarecare înălțime forțe transversale mari, momentele de la baza stîlpului ajung la valori mari și alcătuirea stîlpului devine complicată ; pot apărea dificultăți și la realizarea fundațiilor. Cînd acțiunile transversale au poziții diferite în lungul halei, situația se îmbunătățește mult dacă se iau măsuri constructive pentru asigurarea conlucrării spațiale. Soluția VII.2, *a* se folosește îndeosebi în cazul cînd terenul este de natură să producă tasări diferențiate mari ; în acest caz și soluția VII.2, *b* poate fi acceptată, dacă riglele cadrului, continue și legate articulat în capul stîl-

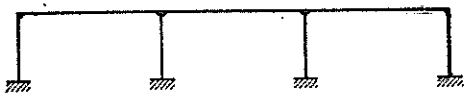


Fig. VII.1. Cadre transversale.

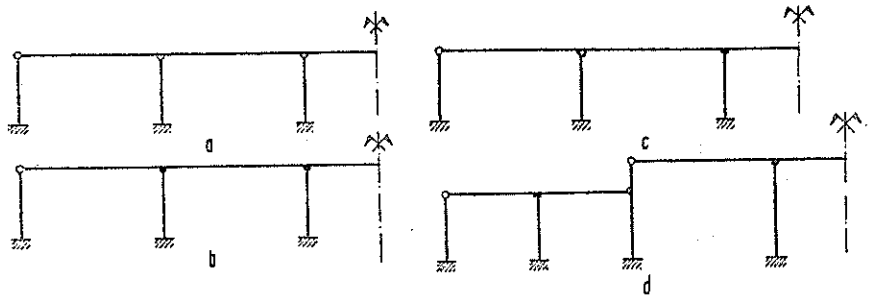


Fig. VII.2. Diferite scheme de legături la cadre cu multe deschideri.

pilor, au o rigiditate redusă. În general, această soluție este de preferat soluției VII.2, *a* în cazul cînd riglele sînt alcătuite din ferme și cadrul transversal are multe deschideri.

În cazul halelor late, cu multe deschideri, în care există variații mari de temperatură și structura are legături rigide la noduri, apare necesar ca stîlpii de margine să fie legați articulat de riglă datorită efectelor dezavantajoase provocate de variațiile de temperatură (fig. VII. 2, *c*) ; uneori stîlpii de margine se fac pendulari, fiind legați articulat și în fundație.

După soluția constructivă, cînd hala este lată și are acoperișul la diferite niveluri, se pot adopta scheme statice ca cea din fig. VII.2, *d*.

În cazul halelor cu o singură deschidere se preferă uneori schema din fig. VII.3, *a*, îndeosebi cînd datorită naturii terenului nu apare indicată o legătură cu fundația avînd caracter de încastrare. În cazul unor hale cu una sau mai multe deschideri înalte și care au pe părțile laterale cîte o deschidere joasă, apare indicat ca legăturile barelor părților joase să fie articulate (fig. VII.3, *b*) ; uneori stîlpul de margine este avantajos să fie pendular (fig. VII.3, *c*).

Sînt numeroase cazurile cînd în alcătuirea unor hale se găsesc structuri transversale incomplete, la care unul sau mai mulți stîlpi lipsesc, fermele fiind așezate pe grinzi longitudinale ; legăturile fermelor cu stîlpii existenți

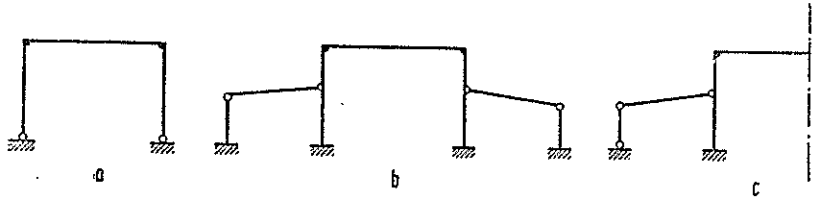
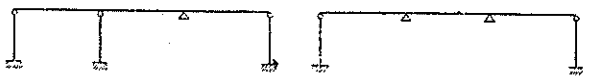


Fig. VII.3. Alte scheme de legături.

Fig. VII.4. Cadre incomplete.



pot fi rigide sau articulate (fig. VII.4). În asemenea situații nu pot lipsi contravîntuirile longitudinale orizontale de la nivelul acoperișului, care trebuie să asigure conlucrarea între cadrele incomplete și cadrele complete vecine.

c. Structuri longitudinale halei

Structuri de rezistență dispuse în lungul halelor există în general la orice hală industrială, chiar atunci cînd hala este concepută cu structuri de rezistență transversale, dezvoltarea structurilor logitudinale în acest caz mărginindu-se la ceea ce este necesar pentru a suporta acțiunile dirijate în lungul halei și pentru a asigura rigiditatea halei în această direcție. O astfel de structură se poate reduce la forme simple, și anume la unele legături între stîlpi.

Sînt însă rezolvări în care structura de rezistență longitudinală halei capătă o formă predominantă.

În cazurile în care distanțele în sens longitudinal între stîlpi sînt mari și există poduri rulante grele, se pot executa cadre longitudinale din grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante și stîlpi, cu legături rigide ; stîlpii sînt articulați în fundație pentru sensul longitudinal și încastrați pentru direcția transversală halei (fig. VII.5). Șarpanta acoperișului este susținută de cadre transversale ușoare, rezemate articulat pe cadrele longitudinale inferioare.

O rezolvare asemănătoare se poate obține și cu grinzi cu zăbrele longitudinale, legate rigid cu stîlpii (fig. VII.6).

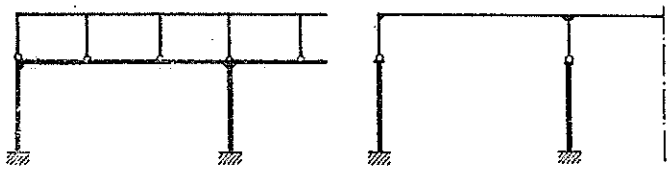


Fig. VII.5. Structura longitudinală a halei.

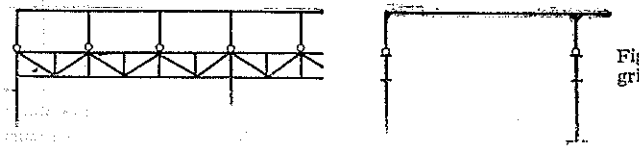


Fig. VII.6. Structuri cu grinzi longitudinale cu zăbrele.

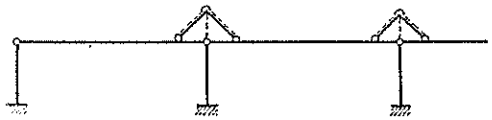


Fig. VII.7. Structuri cu grinzi longitudinale și pane transversale.

O soluție avantajoasă constă în așezarea pe stîlpi în sens longitudinal a unor grinzi cu zăbrele continue; pe talpa inferioară a acestora sînt așezate în sens transversal pane, legate cu tiranți de talpa superioară a grinzii longitudinale. În planul tiranților se amenajează luminătoare triunghiulare (fig. VII.7).

d. Alte tipuri de structuri

Structura de rezistență a halelor metalice industriale capătă în diferite cazuri și alte rezolvări.

O soluție, care se întîlnește des la halele cu acoperișul în formă de ședuri, prezintă unele particularități față de rezolvările obișnuite. O soluție folosită uneori la halele metalice constă într-o rețea de stîlpi pe care, în general, în direcție transversală sînt rezemate grinzi cu zăbrele continue; pe aceste grinzi reazemă rigle la talpa superioară, respectiv inferioară, care susțin la rîndul lor panele acoperișului. Stîlpii în sens longitudinal sînt la distanțe de la 6 la 9 m, iar în sens transversal la distanțe de la 12 la 24 m sau mai mult. Aici structura de rezistență principală este dispusă transversal; în sens longitudinal forțele sînt luate numai de stîlpi, care sînt încastrați în fundație. Pe direcția transversală stîlpii pot fi articulați, dacă grinda cu zăbrele din ferestre poate fi legată cu stîlpii articulat sau rigid (fig. VII.8, *c*).

O altă soluție constă în prevederea unor cadre transversale sau longitudinale halei, pe care sînt așezate grinzile cu zăbrele ale ședurilor din planul ferestrelor, care împreună cu stîlpii cadrelor formează o structură de rezistență pe direcția perpendiculară celei formate de cadre. Se poate obține prin această soluție un interior cu stîlpi foarte rari (fig. VII.8, *b*).

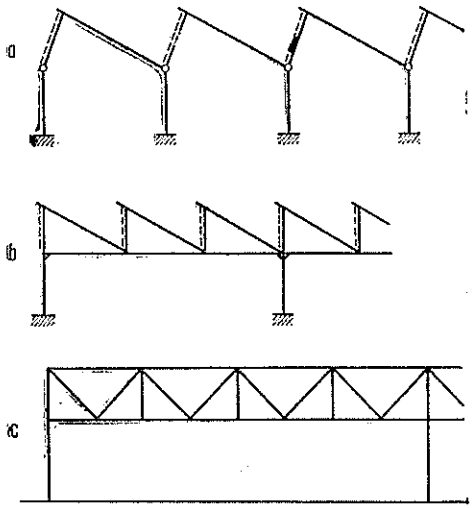


Fig. VII.8. Structuri la hale cu acoperișuri în ședuri: *a* — structuri cu stîlpi la fiecare șed; *b* — ședuri susținute de cadre; *c* — grinda din ferestre.

O rezolvare folosită uneori la halele ușoare constă în adoptarea unor structuri cu stîlpi pendulari. Structura transversală curentă a halei este alcătuită din stîlpi pendulari, articulați sus la legătura cu fermele și jos în fundație; în planul acoperișului se prevăd pe cele două laturi longitudinale, contravîntuiri longitudinale, care reazemă la capetele halei pe frontoane, alcătuite astfel încît să poată primi de la contravîntuirile longitudinale încărcările date de stîlpi la nivelul acoperișului (fig. VII.9). În această soluție structurile de rezistență transversale halei, care pot primi ansamblul acțiunilor transversale, sînt numai la capetele halei; structura longitudinală are o alcătuire obișnuită. Dacă hala este prea lungă, soluția nu mai apare rațională decît dacă se pot realiza unele cadre transversale intermediare.

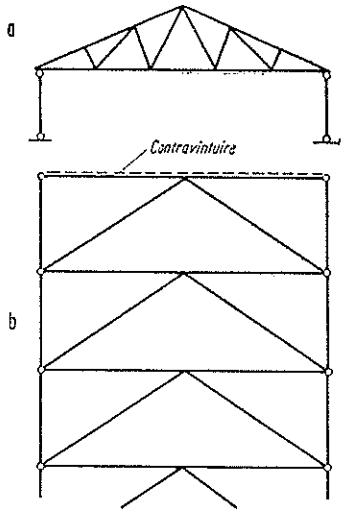


Fig. VII.9. Structură cu stîlpi pendulari: *a* — secțiune transversală; *b* — plan.

În cazul unor hale cu poduri rulante grele avînd calca așezată la înălțime mare, se pot obține avantaje sensibile dacă se prevăd grinzi orizontale suficient de dezvoltate la nivelul căilor de rulare ale podurilor rulante și contravîntuiri longitudinale la nivelul acoperișului; o astfel de rezolvare este în fond bazată pe conlucrarea spațială. În cazul cînd lungimea halei nu este mare, se obțin rezultate superioare dacă frontoanele se amenajează astfel încît să constituie reazeme pentru grinzile de la nivelul căilor de rulare și pentru contravîntuirile de la nivelul acoperișului (fig. VII.10).

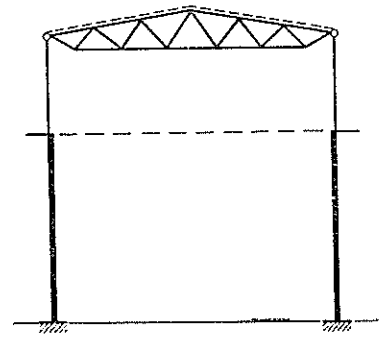


Fig. VII.10. Structură cu stîlpi sprijiniți la nivelul căilor grinzilor de rulare și al acoperișului.

Pentru unele hale ușoare cu sau fără poduri rulante se pot folosi structuri alcătuite din stîlpi independenți tip peron, care sînt încastrați în fundații și au cîte două console (cei de margine una) pe capetele cărora sînt așezate luminătoare; capetele consolelor sînt de regulă legate cu rigle (fig. VII.11). Se realizează astfel o structură transversală cu stîlpi încastrați

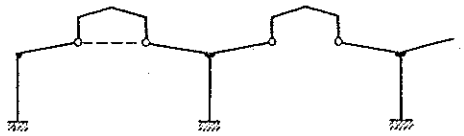


Fig. VII.11. Structuri cu stîlpi independenți tip peron.

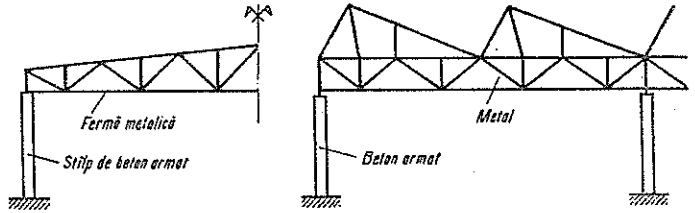


Fig. VII.12. Structuri mixte.

în fundații și cu cîte două articulații pe fiecare deschidere; în sens longitudinal rezolvarea este cea obișnuită. Soluția are avantajul unei mari uniformități, fiind cu un număr redus de tipuri diferite de elemente.

O soluție, utilizată pe scară largă astăzi, constă în folosirea structurilor mixte metal-beton. În general, stîlpii structurii sînt din beton armat prefabricați, iar șarpanta acoperișului și grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante, dacă există, sînt din beton armat sau din metal (fig. VII.12). Structurile mixte conduc în general la un consum de oțel mai redus și la un cost mai mic.

2. Structuri pentru hale fără mijloace de ridicare și transport

a. Generalități

Hale metalice industriale fără mijloace de ridicare și transport se întîlnesc des în diferite sectoare de producție, sectoare auxiliare, depozite etc., unde transporturile se fac la nivelul solului cu cărucioare de diferite tipuri, manuale sau autopropulsate, cu benzi și altele.

La astfel de hale în mod obișnuit rețeaua stîlpilor este regulată cu deschideri de la 12 la 24 m și travee de la 6 la 12 m. Au una sau mai multe deschideri și înălțimea pînă la elementele acoperișului mică, 4—6 m, în general.

Construcția acestor hale este simplă și ușoară; se folosește un număr redus de elemente variate; se tipizează ușor.

La astfel de hale își găsesc o largă utilizare structurile mixte din metal și beton armat; folosirea profilelor cu pereți subțiri conduce obișnuit la un consum de metal redus.

b. Structuri cu ferme

Structurile de rezistență ale halelor fără mijloace de ridicare și transport cu ferme metalice sînt în general indicate la deschideri de 24 m sau mai mari. Stîlpii pot fi din metal sau din beton armat. Învelitoarea, de regulă ușoară, este susținută de pane din profile cu pereți subțiri formate la rece, cu secțiune plină sau cu zăbrele.

Fermele se recomandă să se alcătuiască din profile cu pereți subțiri. Stîlpii metalici pot fi realizați economic de asemenea din profile cu pereți subțiri. Folosirea profilelor cu pereți subțiri la aceste hale poate aduce o reducere a consumului de metal pînă la 40% față de soluția cu laminate la cald.

Stîlpii de metal sau beton sînt încastrați în fundații.

La halele cu o singură deschidere (fig. VII.13), fermele sînt legate de stîlpi articulat.

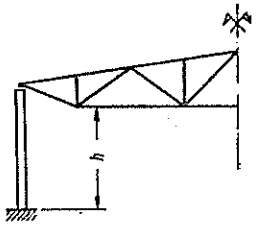


Fig. VII.13. Hală ușoară cu o deschidere.

În cazul unor hale cu mai multe deschideri pot fi folosite diferite scheme constructive (fig. VII.14). Dacă necesitățile impun, se poate adopta o soluție cu acoperișul cu două pante (fig. VII.14, *a*) sau cu acoperișul la același nivel (fig. VII.14, *b*); se folosesc, îndeosebi la halele de producție, structuri

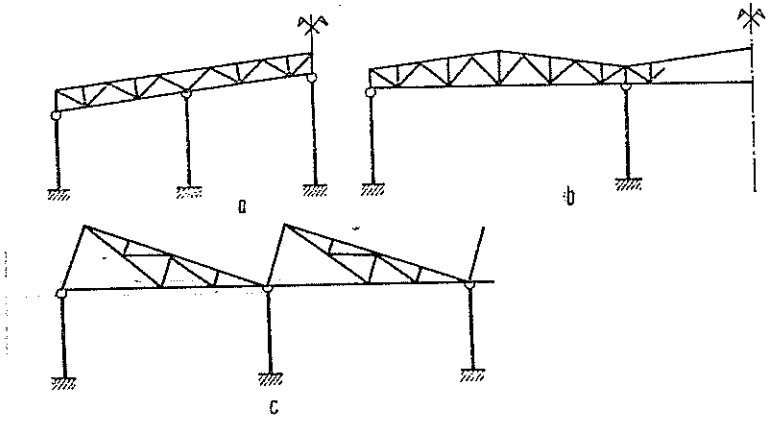


Fig. VII.14. Hale cu ferme cu mai multe deschideri.

cu acoperișul din ședuri (fig. VII.14, *c*). Fermele sînt de regulă independente pe fiecare deschidere și legate articulat de stîlpi; la halele cu două pante se pot folosi ferme cu zăbrele cu tălpi paralele, continue și legate articulat pe stîlpi.

În general, la halele cu mai multe deschideri, apare necesitatea iluminării naturale și prin acoperiș; acoperișurile în ședuri asigură o bună iluminare; la celelalte forme de acoperiș se prevăd luminătoare pe acoperiș, care pot servi și pentru aerisire.

c. Structuri cu cadre rigide

La halele fără mijloace de ridicare și transport, în cazul unor deschideri mici, pînă la 18 m și chiar 24, pot fi realizate structuri de rezistență cu stîlpi metalici și rigle, cu secțiune plină, formînd cadre.

Stîlpii și riglele sînt din oțel, preferabil din profile cu pereți subțiri formate la rece.

La halele cu o singură deschidere (fig. VII.15, *a*, *b*) stîlpii cadrelor pot fi încastrați în fundație sau articulați. La halele cu deschiderea de 24 sau 30 m se pot folosi cadre cu zăbrele (fig. VII.15, *b*), legate cu fundații încastrat sau articulat.

Structurile cu mai multe deschideri pot fi cu legături rigide între rigle și stîlpi, stîlpii avînd o legătură cu fundația, încastrată sau articulată (fig. VII.16, *a*). O soluție care se poate adopta în unele situații (terenuri tasabile) este cu structură cu stîlpi încastrați și rigla continuă, legată articulat de stîlpi (fig. VII.16, *b*).

Și aceste hale au de regulă învelitori ușoare.

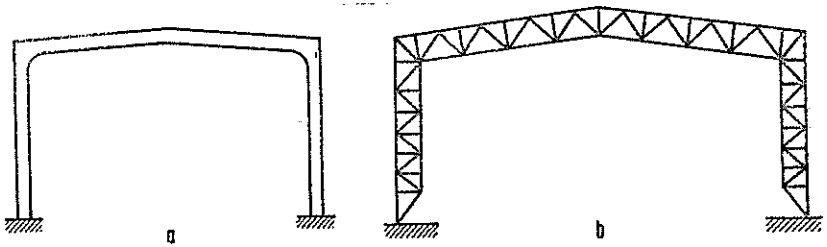


Fig. VII.15. Hale în cadre cu o deschidere.

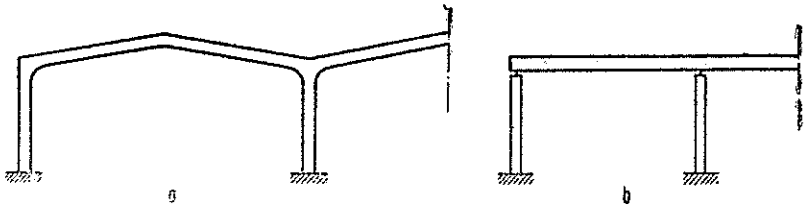


Fig. VII.16. Hale în cadre cu mai multe deschideri.

3. Structuri pentru hale cu mijloace de ridicare și transport

a. Generalități

Halele metalice industriale dotate cu mijloace de ridicare și transport sînt folosite în cele mai variate domenii ca hale de producție, auxiliare, în sectoare cu depozite și altele; mijloacele de ridicare și transport circulă pe căi susținute de șarpanta acoperișului sau sînt montate pe grinzi așezate pe stîlpii halei. Se folosesc cărucioare, grinzi rulante, poduri rulante și macarale în consolă.

Rețeaua stîlpilor este recomandabil să fie regulată; sînt însă multe cazuri cînd distanțele între stîlpi pe unele șiruri longitudinale sînt diferite.

Deschiderile cele mai folosite sînt 18 și 24 m, care satisfac în general cele mai variate sectoare de producție ale industriei ușoare; în alte sectoare industriale se folosesc hale cu deschideri mari 30—36 m și chiar mai mult. Travee sînt de 6, 12, 18 m și uneori chiar mai mari. Înălțimea halelor, în general mai mare decît la cele fără mijloace de ridicare și transport, poate ajunge la valori de 14—18 m și chiar mai mult.

Învelitoarea acestor hale este recomandabil să fie ușoară sau să aibă o greutate medie; se fac însă și hale cu învelitori grele, elementele de învelitoare rezemînd în unele cazuri direct pe fermele sau pe riglele transversale halei.

b. Structuri cu ferme

Cînd mijloacele de ridicare și transport circulă pe căi susținute de șarpanta acoperișului, structura de rezistență transversală a halelor are o alcătuire asemănătoare cu aceea a structurilor halelor fără mijloace de ridicare și transport. Se preferă soluțiile cu ferme care au talpa inferioară orizontală și la același nivel spre a se asigura o fixare mai simplă și mai ușoară a grinzilor căilor de rulare.

O structură rațională folosită uneori la asemenea hale, cu o rețea de stîlpi regulată (12×18; 12×14 m), are grinzi longitudinale cu deschiderea de la 18 la 24 m și pane de 12 m rezemate la talpa inferioară a grinzilor, legate prin tiranți de talpa superioară a grinzilor longitudinale; panele sînt la 3 m interval (fig. VII.17).

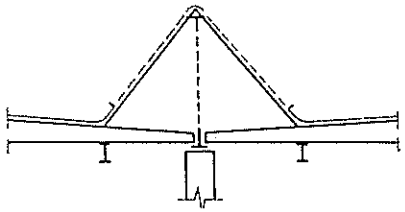


Fig. VII.17. Structuri cu grinzi longitudinale și pane cu tiranți.

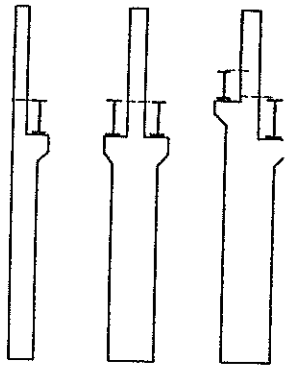


Fig. VII.18. Stîlpi peste hale cu poduri rulante.

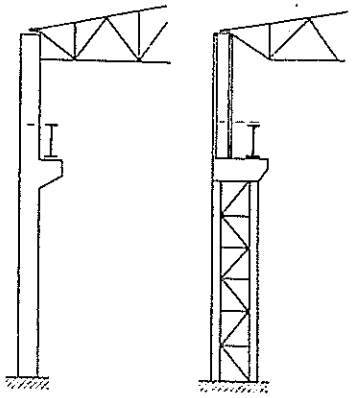


Fig. VII.19. Stîlpi cu console și cu zăbrelușe.

În dreptul tiranților pot fi așezate grinzile căilor cărucioarelor sau unor grinzi rulante, susținute de panele acoperișului. Stîlpii pot fi metalici sau de beton armat.

Halele care au structura cu ferme și sînt prevăzute cu poduri rulante pot avea stîlpii metalici sau din beton armat. Pentru poduri rulante cu o capacitate normată mică, pînă la 20 t sau chiar 32 t, grinzile căilor de rulare pot fi așezate pe console; pentru sarcini nominale mai mari, stîlpii sînt realizați în trepte pentru ca grinzile căilor de rulare să rezeme direct pe partea inferioară a stîlpului (fig. VII.18).

Dacă în două deschideri alăturate sînt poduri rulante cu sarcini nominale diferite, care pot avea căile de rulare la niveluri diferite, se poate folosi un stîlp cu treaptă și consolă.

Stîlpii, în general, sînt încastrați în fundație. La halele cu o singură deschidere, legătura între ferme și stîlpi poate fi rigidă sau articulată; stîlpii pot fi cu secțiune plină sau din elemente depărtate solidarizate cu zăbrelușe (fig. VII.19).

În cazul halelor cu mai multe deschideri se pot folosi ferme continue, legătura cu stîlpii fiind de preferință articulată (fig. VII.20); într-o asemenea situație este indicat să se adopte pentru talpa superioară a fermelor o înclinare cît mai mică.

La unele hale industriale se folosesc în aceeași deschidere poduri suprapuse, avînd căile de rulare la niveluri diferite (fig. VII.21). Riglele structurii sînt cu inimă plină sau cu zăbrele și sînt legate de stîlpi, de regulă articulat.

În unele sectoare de producție, în hale, în afara podurilor rulante, se folosesc și macarale în consolă. Structura de rezistență a acestor hale

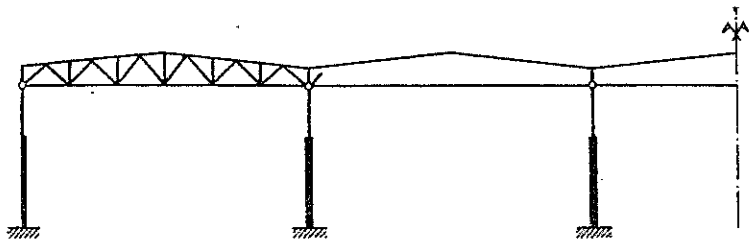


Fig. VII.20. Hale cu ferme continue.

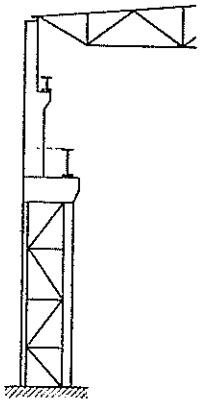


Fig. VII. 21. Hală cu poduri suprapuse.

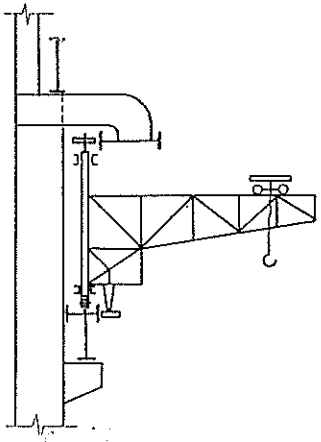


Fig. VII. 22. Stîlpi pentru hale cu macarale în consolă.

se deosebește de aceea a halelor curente, îndeosebi prin alcătuirea stîlpilor, care trebuie să susțină și grinzile căilor de rulare ale macaralelor în consolă. Macaralele în consolă circulă pe o grindă care suportă încărcarea verticală dată de macara; la partea superioară este prevăzută o grindă orizontală, susținută de regulă de stîlpi sau de grinda căii de rulare a podului rulant, care ia forțele orizontale transversale căii, date de macaraua în consolă; roțile orizontale de la partea superioară a macaralei în consolă nu au bandaje cu buze; roți orizontale se găsesc și la partea inferioară, prin care se transmit componente orizontale; la partea inferioară este amenajată în acest scop (fig. VII.22) o grindă care susține cele două căi, verticală și orizontală.

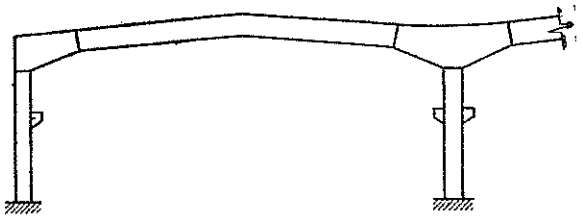


Fig. VII.23. Structuri în cadre.

c. Structuri în cadre

Hale cu structuri în cadre cu riglele cu secțiune plină își găsesc aplicare și în cazurile în care în hală sînt folosite mijloace de ridicare și transport (fig. VII.23). În general, deschiderile au de la 18 la 24 m, dar pot ajunge și la valori mai mari. Riglele cadrelor, legate rigid cu stîlpii, au obișnuit secțiuni variabile în lungul lor care conduc la distribuții de eforturi avantajoase, ceea ce îngăduie o rezolvare economică a structurii. În zone cu terenuri sensibile la înmuiere s-au folosit cu succes structuri în cadre cu rigle continue cu secțiune constantă, așezate articulat pe stîlpi, deschiderile adoptate fiind de 18 și 24 m.

La structurile în cadre cu solicitări mai importante apare avantajoasă folosirea oțelurilor cu rezistențe superioare.

Halele cu structurile în cadre au un aspect interior foarte plăcut. Se pot obține soluții raționale, în cazul cînd concepția constructivă îngăduie să se realizeze rapoarte convenabile între rigiditățile elementelor care compun structura cadrelor. Conlucrarea spațială bine concepută și realizată aduce de asemenea avantaje sensibile.

VIII. Ferme și grinzi cu zăbrele folosite la structurile halelor industriale

1. Forme și alcătuiri

a. Sisteme și forme

Grinzile cu zăbrele se întîlnesc des și în măsură mare la construcțiile metalice industriale. Se execută ușor, sînt simple și în general economice; li se pot da forme variate, cerute de soluția constructivă de ansamblu, de natura și intensitatea solicitărilor etc. Grinzile cu zăbrele, după capacitatea portantă, pot fi de la grinzi cu zăbrele ușoare, pînă la grinzi cu

zăbrele grele. Grinzile cu zăbrele folosite la construcția halelor metalice industriale pentru susținerea învelitorilor sînt cunoscute sub numele de *ferme*.

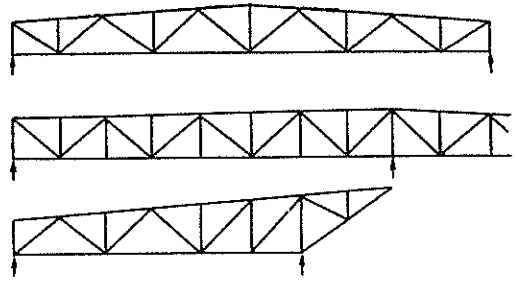


Fig. VIII.1. Grinzi cu zăbrele.

Grinzile cu zăbrele pot fi simplu rezemate cu o singură deschidere, continue pe mai multe deschideri și eventual cu console. (fig. VIII.1). Este mai răspîndită folosirea grinzilor cu zăbrele simplu rezemate, care se execută și se montează mai ușor. În unele situații grinzile continue pe mai multe deschideri, legate articulat pe reazeme, pot prezenta o serie de avantaje, între care și asigurarea unei rigidități mai mari pentru structura halei.

Grinzile combinate, la care talpa superioară este realizată dintr-o grindă cu inimă plină, iar restul barelor după sistemul grinzilor cu zăbrele, sînt grinzi cu inimă plină întărite cu grinzi cu zăbrele (fig. VIII.2).

Forma fermelor constituie una din problemele care se rezolvă la proiectarea acestora. Forma se alege ținîndu-se seama de o serie de elemente între care: tipul învelitorii, așezarea panelor, tipul luminătoarelor, schema statică, felul încărcărilor etc.

Fermele care intră în alcătuirea șarpantei acoperișurilor pot fi: triunghiulare, trapezoidale, poligonale, cu tălpi paralele sau cu alte forme speciale.

Fermele triunghiulare (fig. VIII.3, *a*) sînt folosite la halele cu învelitori cu pantă mare și de obicei neizolate termic, cum sînt învelitorile din azbociment ondulat și din tablă ondulată sau cutată; este cel mai vechi tip de fermă.

Înălțimea la mijlocul deschiderii poate ajunge la jumătate din deschidere. Se folosesc de asemenea unele ferme cu console (fig. VIII.3). Prezintă dezavantajul că unghiul tălpilor pe reazem este uneori prea mic, ceea ce dă complicații la alcătuirea acestui nod; se poate remedia acest inconvenient alcătuind talpa inferioară frîntă (fig. VIII.3, *b*).

Alte sisteme folosite în unele cazuri sînt cele din fig. VIII.3, *c* și *d*.

Fermele trapezoidale constituie unul din tipurile cele mai utilizate la halele industriale (fig. VIII.4) în cazul acoperișurilor care au o înclinare mică. Pot fi așezate articulat pe stîlpi, sau pot fi legate astfel încît să formeze cu stîlpii un cadru cu noduri rigide; în acest caz lipsește montantul de reazem și tălpile sînt prinse fiecare de stîlp articulat.

Fermele poligonale au talpa superioară frîntă (fig. VIII.5); se aleg astfel de forme cînd deschiderea este mare și cînd în partea centrală a deschiderii este un luminator.

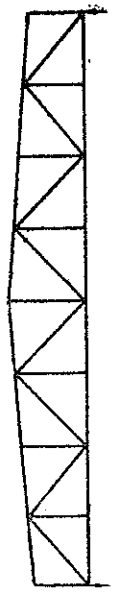


Fig. VIII.4. Fermă trapezoidală.

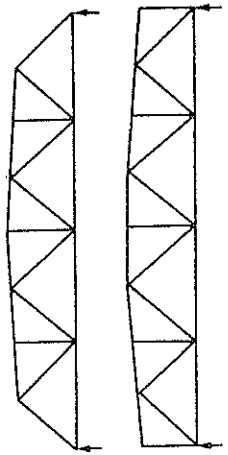


Fig. VIII.5. Ferme poligonale.

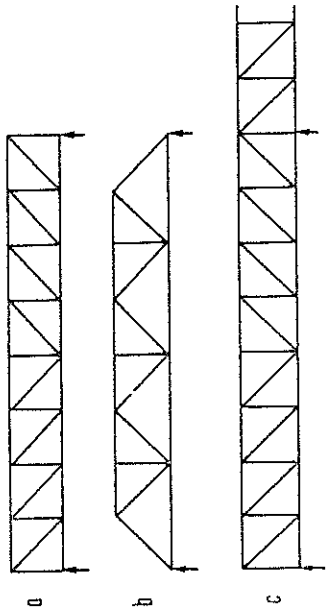


Fig. VIII.6. Ferme cu tălpi paralele.

Fig. VIII.2. Grindă combinată.

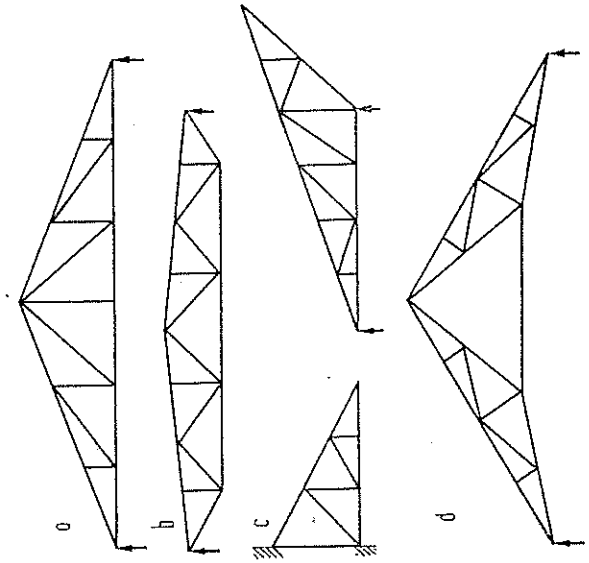


Fig. VIII.3. Ferme triunghiulare.

Fermele cu tălpi paralele sînt de asemenea folosite în largă măsură la construcţiile halelor metalice industriale. Prezintă avantaje constructive, lungimea montanţilor respectiv zăbrelelor fiind aceeaşi (fig. VIII.6).

Cînd fermele sînt continue pe mai multe deschideri folosirea fermelor cu tălpi paralele apare avantajoasă din punct de vedere al folosirii materialului.

Fermele cu forme speciale sînt utilizate acolo unde forma construcţiei sau alte condiţii impun alcătuiri constructive care conduc la ferme cu alte forme decît cele obişnute. Intră în această categorie diferite ferme ca: fermele şedurilor, fermele cu tălpi curbe, fermele cu tălpi paralele frînte şi altele (fig. VIII.7); fermele spaţiale cu trei tălpi alcătuiesc de asemenea o categorie de ferme speciale (fig. VIII.8).

b. Sistemele de zăbrele

Zăbrelele la grinzile cu zăbrele leagă cele două tălpi ale grinzii, formînd împreună cu acestea o reţea de triunghiuri geometric indeformabilă. Sistemul de zăbrele are influenţă asupra consumului de oţel, asupra volumului de muncă şi asupra aspectului grinzii; alegerea sistemului de zăbrele se face ţinîndu-se seama de o serie de consideraţii, cum sînt: schema de aplicare a încărcărilor care trebuie să conducă la distanţe egale între noduri, eventuale diferenţe dîndu-se panourilor de la reazeme, evitarea aplicării încărcărilor în afara nodurilor, pentru a nu supune talpa la eforturi de încovoiere pe intervalul dintre două noduri.

Sistemul de zăbrele este influenţat şi de forma grinzii cu zăbrele.

Un sistem de zăbrele raţional, des folosit, este sistemul dreptunghiular, la care montanţii sînt perpendiculari pe ambele tălpi sau pe una (fig. VIII.9). La fermele cu tălpi paralele (fig. VIII.9, *a*), diagonalele sînt întinse. La fermele dreptunghiulare montanţii pot fi perpendiculari pe talpa inferioară (fig. VIII.9, *b*) sau pe talpa superioară (fig. VIII.9, *c*); după modul cum sînt aşezate diagonalele, acestea pot fi întinse sau comprimate. Sistemul de zăbrele dreptunghiular se aplică şi la alte forme de grinzi (fig. VIII.9, *d*).

Sistemul de zăbrele triunghiular este un sistem simplu; este folosit în mare măsură, în special la fermele cu tălpi paralele şi trapezoidale (fig. VIII.10). Un alt sistem de zăbrele este cel triunghiular cu montanţi suplimentari (fig. VIII.11). Cînd fermele au înălţime mare se poate folosi un sistem de zăbrele triunghiulare cu bare suplimentare (fig. VIII.12). Un alt sistem de zăbrele, folosit în special la fermele care trebuie să aibă o rigiditate mare, este sistemul cu diagonale încrucişate sau un sistem K (fig. VIII.13); execuţia acestora este însă mai complicată şi cere un volum de manoperă mare, din care cauză sînt utilizate la alte grinzi cu zăbrele, cum sînt contravîntuirile halelor, stîlpii de transport de energie etc.

În ţara noastră este astăzi foarte răspîndită folosirea fermelor tipizate.

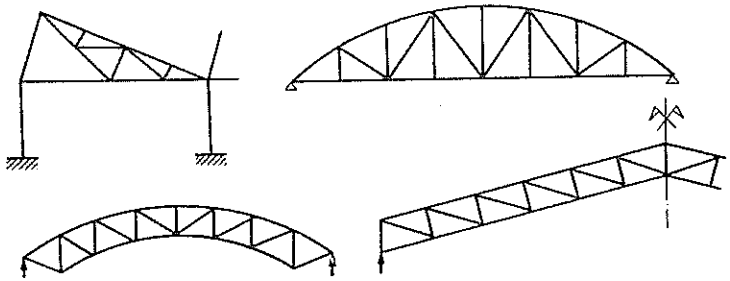


Fig. VIII.7. Ferme cu forme speciale.

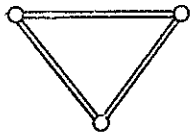


Fig. VIII.8. Secțiune într-o fermă cu trei tălpi.

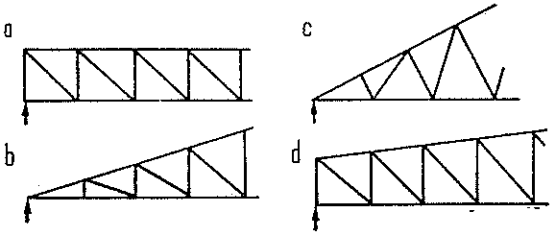


Fig. VIII.9. Zăbrele sistem dreptunghiular.

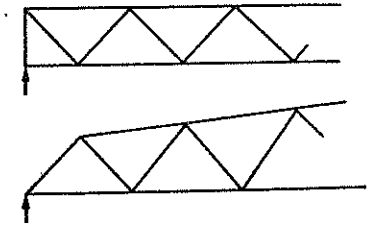


Fig. VIII.10. Zăbrele sistem triunghiular.

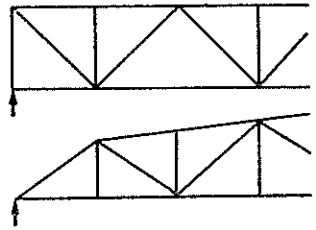


Fig. VIII.11. Zăbrele sistem triunghiular cu montanți suplimentari.

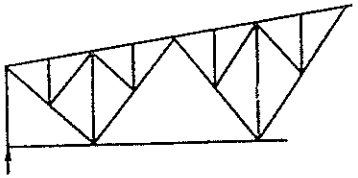


Fig. VIII.12. Ferme cu bare suplimentare.

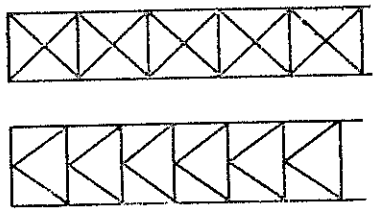


Fig. VIII.13. Zăbrele încrucișate și în K.

2. Ferme ușoare

a. Alcătuire

Fermele ușoare sînt executate din profile laminate la cald sau din profile din tablă subțire formate la rece; pot intra în această categorie și fermele executate din țevi cu secțiune transversală rotundă sau dreptunghiulară.

Fermele ușoare intră în general în alcătuirea structurilor halelor cu acoperișuri ușoare, care nu au mijloace de ridicare și transport suspendate de șarpanta acoperișului, deschiderile halei putînd avea pînă la 24 m, eventual pînă la 30 m.

Prin ferme ușoare se înțeleg acele tipuri de ferme care se pot executa din elemente simple: corniere, profile U, tuburi etc. care cer îmbinări și prinderi la noduri puțin complicate și în general conduc la un consum de metal suficient de redus.

O serie de elemente caracteristice acestui tip de ferme va rezulta din cele ce urmează.

Tălpile grinzilor cu zăbrele ușoare se pot executa din cîte două corniere laminate la cald cu aripi egale sau neegale, din profile U, din țevi sau din două table sudate în T (fig. VIII.14). În cazul cînd se utilizează profile cu pereți subțiri formate la rece acestea pot fi corniere simple sau cu ciocuri, profile în formă de pălărie, două profile U, tuburi (fig. VIII.15).

Zăbrelele se alcătuiesc din elemente simple în funcție de valoarea efortului, de secțiunile tălpilor, urmărindu-se, în special la fermele din profile formate la rece, ca prinderea la noduri să se facă pe cît posibil direct, fără gusee. Unele exemple sînt date în fig. VIII.16.

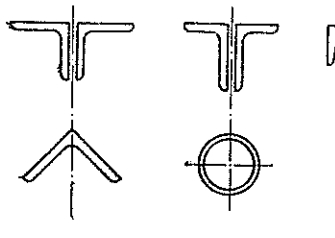


Fig. VIII.14. Secțiuni pentru tălpile fermelor ușoare din profile laminate.

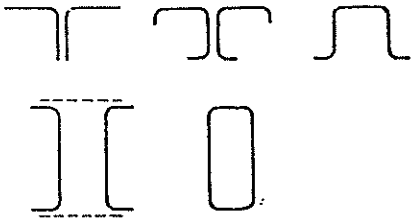


Fig. VIII.15. Secțiunile tălpilor fermelor din profile cu pereți subțiri formate la rece.

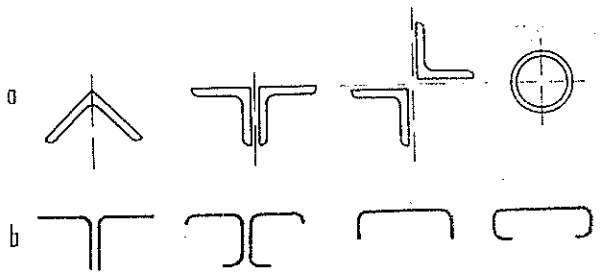


Fig. VIII.16. Secțiunile zăbrelelor fermelor ușoare: *a* — laminate; *b* — profile formate la rece.

b. Alcătuirea nodurilor

La alcătuirea nodurilor fermelor cu zăbrele se va ține seama de regulile date în lucrarea [31]; deosebit de aceste reguli se au în vedere unele particularități, care rezultă din modul cum se alcătuiesc și se îmbină secțiunile barelor din profile cu pereți subțiri.

Nodurile grinzilor cu zăbrele alcătuite din profile cu pereți subțiri, din laminate la cald (4—6 mm), se fac după regulile obișnuite. În fig. VIII.17 sînt date unele exemple.

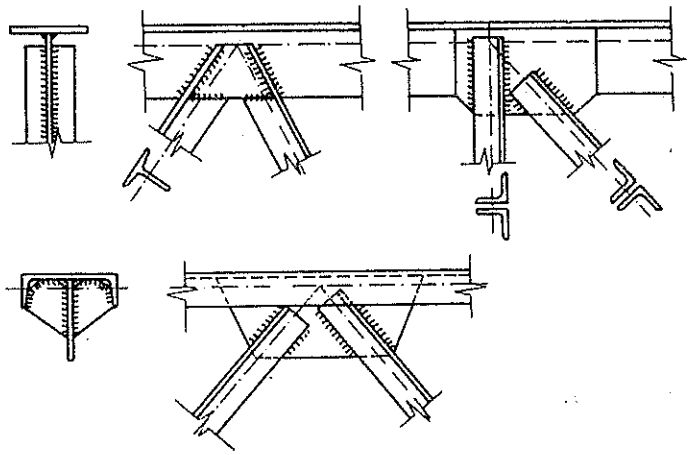


Fig. VIII.17. Noduri pentru grinzi cu zăbrele din profile laminate.

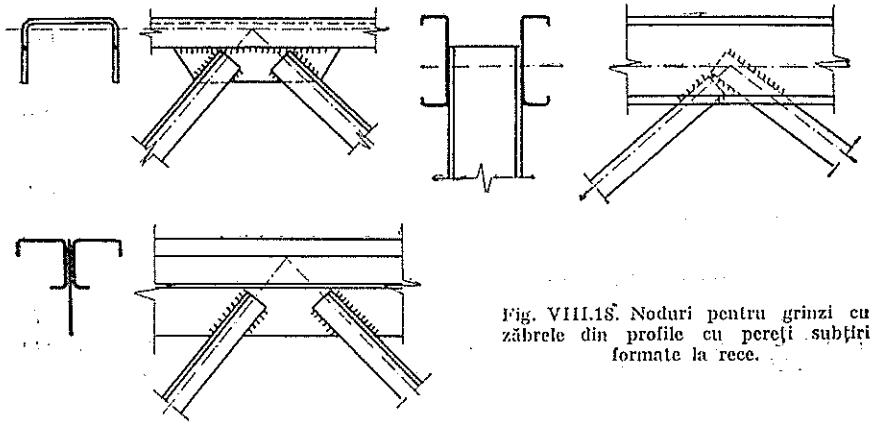


Fig. VIII.18. Noduri pentru grinzi cu zăbrele din profile cu pereți subțiri formate la rece.

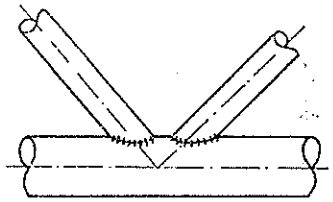


Fig. VIII.19. Noduri pentru grinzi cu zăbrele din țevi.

Nodurile grinzilor cu zăbrele realizate din profile cu pereți subțiri, formate la rece au alcătuirea din fig. VIII.18, iar pentru cele din țevi este dat un exemplu în fig. VIII.19.

Îmbinările la noduri se fac prin sudură cu arc electric sau prin puncte realizate prin sudură sau prin presiune.

3. Ferme grele

a. Alcătuire

Prin ferme grele se înțeleg toate categoriile de ferme executate din bare realizate din tablă sau profile laminate la cald, altele decît cele cu pereți subțiri. Astfel de ferme se folosesc pentru diferite deschideri, dar mai ales la deschideri de 24 m și mai mult, cînd încărcările sînt mari și foarte mari, cînd structurile din care fac parte sînt supuse la solicitări mari și foarte mari.

Există desigur o întreagă gamă de astfel de ferme, diferențiate prin mărimea deschiderilor, a încărcărilor sau pe baza ambelor criterii și deci vor rezulta ferme normale, grele și foarte grele.

Din punctul de vedere al alcătuirii, aceste ferme vor fi prezentate separat în ferme cu secțiunile tălpilor simple și în ferme cu secțiunile tălpilor duble.

În ceea ce privește forma și sistemul de zăbrele, cele arătate la paragraful 1 din acest capitol se aplică și la fermele grele ; sînt mai rar utilizate fermele triunghiulare.

b. Ferme cu tălpi avînd secțiunea cu un perete

Secțiunile tălpilor acestor ferme pot fi alcătuite din corniere cu aripi egale sau neegale, din profile U alăturate, din profile dublu T laminate sau din profile T, alcătuite din două table sudate (fig. VIII.20), în funcție de

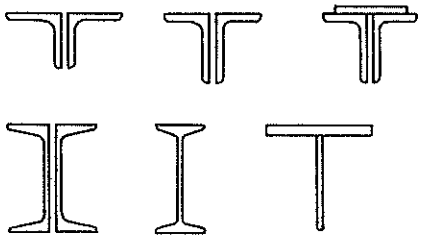


Fig. VIII.20. Secțiuni pentru tălpi cu un perete.

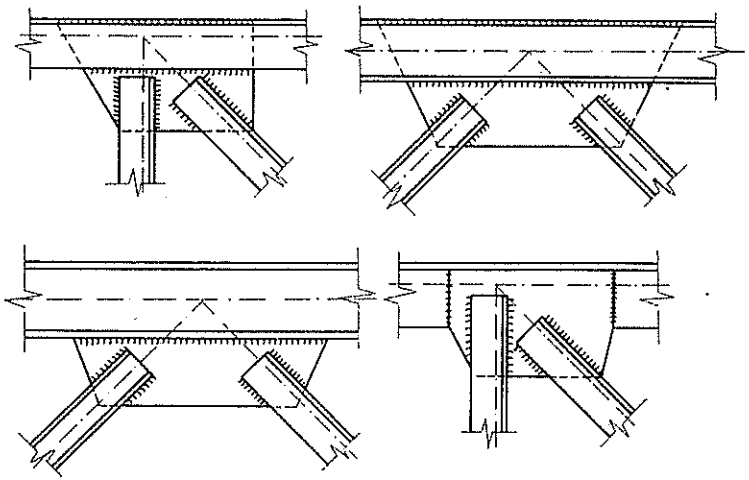


Fig. VIII.21. Noduri la grinzi cu zăbrele cu un perete.

valoarea eforturilor din tălpi și de modul în care se transmit fermei încărcările de la acoperiș ; cînd tălpile sînt supuse la unele încărcări între noduri, se adoptă secțiuni care rezistă bine la compresiune cu încovoiere.

Secțiunile zăbrelelor se fac din corniere așezate alăturat sau în cruce și eventual din profile U. Alcătuirea nodurilor fermelor cu tălpile avînd secțiunea cu un perete se face în mod variat după forma secțiunii tălpii (fig. VIII.21). La fermele cu tălpile din corniere, profile U sau dublu T prinderea zăbrelelor la noduri se face cu ajutorul guseelor ; la cele cu tălpile în T prinderea se poate face direct, cu guseu sudat de inima secțiunii tălpii sau cu guseu introdus în locul inimii, care se întrerupe în zona nodului.

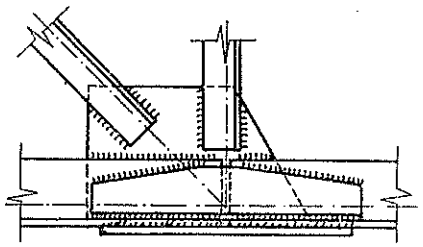


Fig. VIII.22. Nod cu înnădirea tălpilor.

La nodurile în care se face înnădirea tălpilor se prevăd eclise de înnădire (fig. VIII.22).

c. Ferme cu tălpi avînd secțiunea cu perete dublu

Secțiunile tălpilor cu pereți dubli se pot face din corniere sau profile U depărtate, din table sudate cu o talpă și două inimi (secțiuni în II), din table cu secțiune închisă, din profile în formă de H, realizate din table solidarizate prin sudură (fig. VIII.23) în funcție de valoarea și natura eforturilor din tălpi.

Secțiunile zăbrelelor, din punct de vedere al formei, sînt determinate de alcătuirea secțiunilor tălpilor ; zăbrelele pot fi alcătuite din corniere,

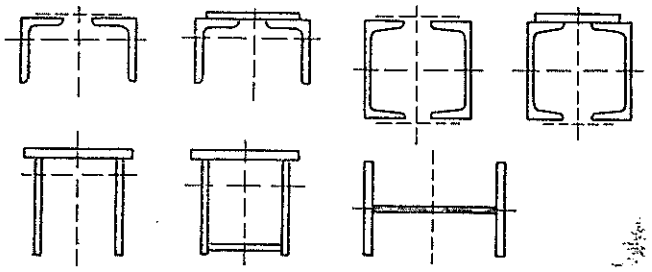


Fig. VIII.23. Secțiuni pentru tălpi cu perete dublu.

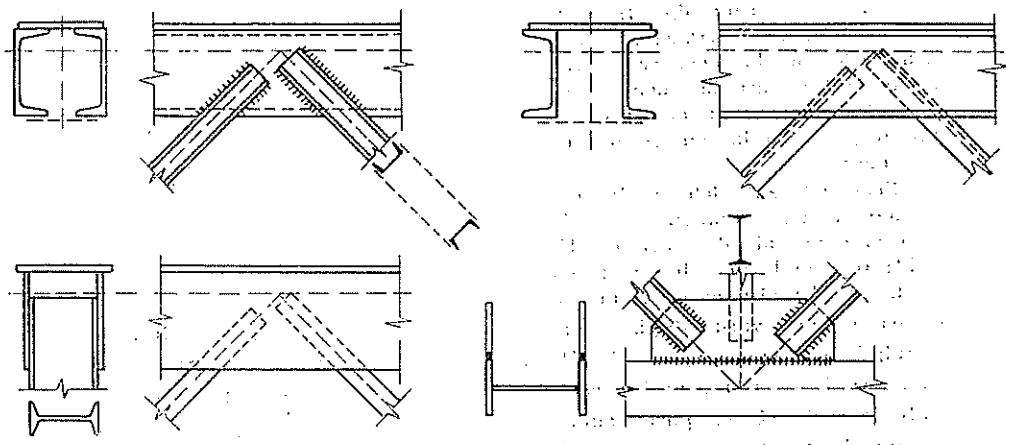


Fig. VIII.24. Noduri la grinzi cu tălpi cu perete dublu.

din profile U, din profile dublu T, dispuse ca în fig. VIII.24, unde sînt date unele exemple de alcătuire a nodurilor. Ori de cîte ori este posibil prinderea zăbrelelor se face direct; cînd prinderea directă nu poate fi realizată se introduc gusee.

4. Grinzi cu zăbrele longitudinale

a. Rolul grinzilor longitudinale și așezarea lor

Grinzile longitudinale apar în structurile halelor industriale cînd distanțele între stîlpi în sens longitudinal halei sînt mari, de 18, 24, 30 m și mai mult și cînd alcătuirea structurii șarpantei acoperișului are ferme la distanțe mai mici, de exemplu 6 sau 12 m; grinzi longitudinale se prevăd de asemenea în travee în care sînt suprimați stîlpii. În primul caz, grinzile longitudinale sînt prevăzute pe toate șirurile longitudinale de stîlpi sau pot lipsi pe șirurile marginale, unde stîlpii pot fi așezați corespunzător distanțelor dintre fermele acoperișului.

Ca urmare, grinzile longitudinale în această situație servesc pentru susținerea fermelor acoperișului halelor în cazurile în care distanța între fermele acoperișului este mai mică decît distanța între stîlpi.

Grinzile longitudinale au tălpile paralele și sînt așezate între stîlpi, reazemul de la talpa superioară putînd fi așezat pe capătul stîlpului.

b. Alcătuirea grinzilor longitudinale; prinderi de stîlpi

Grinzile longitudinale au tălpile paralele și sistemul de zăbrele dreptunghiular sau triunghiular cu bare suplimentare, acesta fiind preferat pentru că oferă o posibilitate mai simplă de prindere a fermelor de grinda longitudinală (fig. VIII.25). Este recomandabil, pe cît posibil, ca pe o grindă longitudinală să rezeme cel puțin două ferme. Grinzile longitudinale fac parte din categoria grinzilor cu zăbrele grele, tălpile avînd secțiuni cu o inimă sau două. Grinzile cu tălpile cu perete dublu au o rigiditate transversală mai bună. Secțiunile tălpilor și ale zăbrelelor se aleg după aceleași reguli ca la fermele grele, avînd însă în vedere și posibilitatea de prindere a fermelor de grinda longitudinală.

Prinderea grinzilor longitudinale de stîlpi se poate face articulat, fără sau cu continuitate; această ultimă soluție oferă structurii halei o rigiditate mai bună și conduce la o solicitare a grinzii longitudinale mai avantajoasă.

Prinderea de stîlpi a grinzilor longitudinale în cazul cînd diagonala de reazem coboară, se poate realiza ca în fig. VIII.26. Este necesar ca la alegerea soluției de prindere să se țină seama de modul cum se vor face legăturile între ferme și grinzile longitudinale.

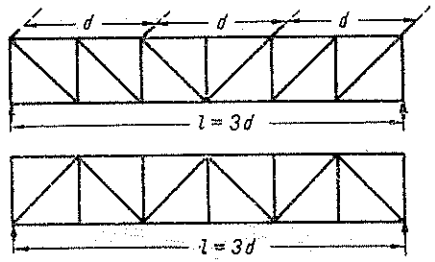


Fig. VIII.25. Grinzi longitudinale.

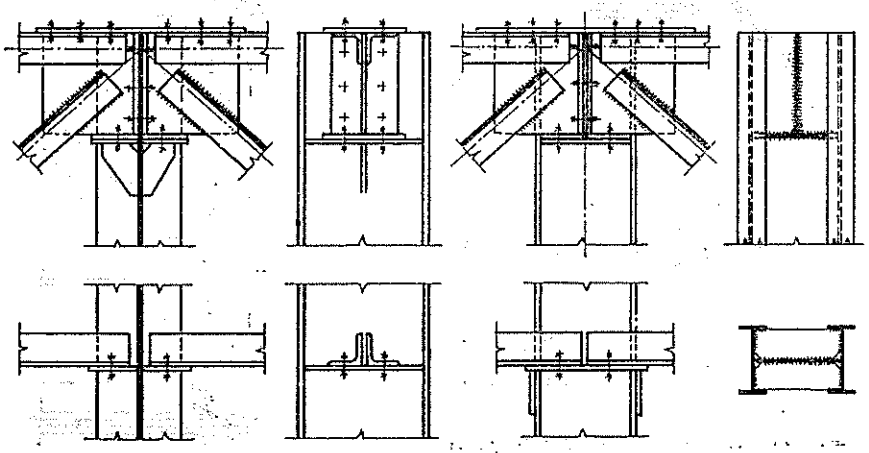


Fig. VIII.26. Prinderea grinzilor longitudinale de stîlpi.

c. Prinderea fermelor de grinzile longitudinale

Cînd înălțimea halei în deschiderile alăturate unei grinzi longitudinale nu este aceeași, prinderea fermelor de grindă se face așezînd ferma dintr-o deschidere la nivelul grinzii longitudinale și pe cea din deschiderea alăturată deasupra grinzii longitudinale sau cu un decalaj oarecare, impus de diferența de înălțime (fig. VIII.27).

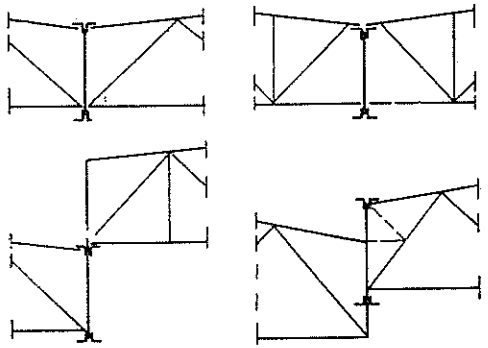


Fig. VIII.27. Așezarea fermelor pe grinzile longitudinale.

Prinderea fermelor de grinda longitudinală se poate face realizîndu-se continuitatea fermelor sau nu.

În fig. VIII.28 sînt arătate unele soluții cu fermele așezate la același nivel în cele două deschideri alăturate și cu diagonala fermelor coborîtoare sau urcătoare; ferma reazemă la talpa superioară a grinzii longitudinale (fig. VIII.28, *a*) sau la talpa inferioară (fig. VIII.28, *b*).

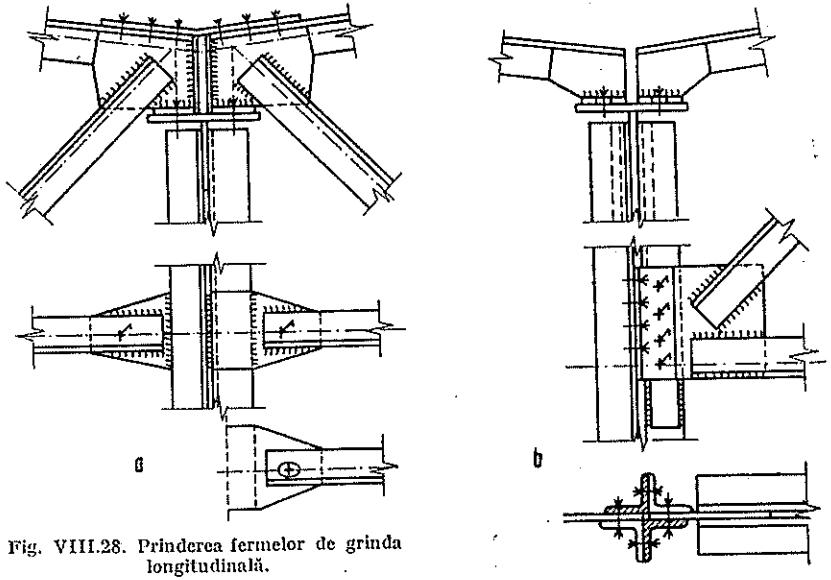


Fig. VIII.28. Prinderea fermelor de grinda longitudinală.

IX. Stîlpii halelor industriale

1. Stîlpi pentru hale fără mijloace de ridicare și transport

a. Stîlpi cu secțiune plină

Stîlpii halelor fără mijloace de ridicare și transport în mod obișnuit sînt cu secțiune plină și constantă pe toată înălțimea. Secțiunea trnsversală este alcătuită corespunzător încărcărilor pe care le primește de la acoperiș și legăturii între fermele sau riglele acoperișului și stîlpi (fig. IX.1).

Cînd legătura este articulată, stîlpul se poate face dintr-un profil dublu T laminat, sau cu secțiunea din table solidarizate prin sudură în formă de dublu T. Sînt în general preferabile profilele laminate, din care se pot alcătui stîlpii cu o manoperă foarte redusă. Forma secțiunii se adoptă ținînd seama, cînd este cazul, și de solicitările de încovoiere la care este supus stîlpul.

O bună folosire a materialului poate impune ca secțiunile adoptate să fie întărite pe unele porțiuni din lungimea stîlpului, unde sînt solicitări din încovoiere mai mari.

Rezolvarea constructivă a capătului superior al stîlpului este determinată de modul cum se face legătura între riglele structurii și stîlpi. Este important ca această legătură să fie realizată constructiv în concordanță cu schema statică adoptată la calculul structurii.

Exemple de rezolvare constructivă sînt date în fig. IX.2 pentru legături articulate și în fig. IX.3 pentru legături rigide.

b. Stîlpi cu secțiunea din elemente depărtate

În cazul cînd din alcătuirea structurii halei rezultă solicitări mari în stîlpi în planul structurii, secțiunea stîlpului este rațional să fie formată din elemente depărtate de obicei din profile laminate (fig. IX.4). Elementele secțiunii se solidarizează cu plăcuțe sau zăbreluțe; solidarizarea cu plăcuțe se adoptă numai cînd predomină solicitarea axială. Secțiunea stîlpului poate fi constantă pe întreaga înălțime sau poate fi întărită pe unele porțiuni cu solicitări mari.

Capătul superior al stîlpului se alcătuiește corespunzător modului în care s-a prevăzut legătura dintre stîlp și riglă. Pe capătul stîlpului se așază o placă și sub placă, oricare este sistemul de solidarizare al elementelor ce compun stîlpul, se face legătura între elementele depărtate cu două plăcuțe așezate pe părțile exterioare ale tălpilor ramurilor; în dreptul plăcuței de rezemare a riglei se așază sub aceasta o nervură, care se sudează de placa orizontală din capătul stîlpului, pentru rigidizarea acesteia (fig. IX.5).

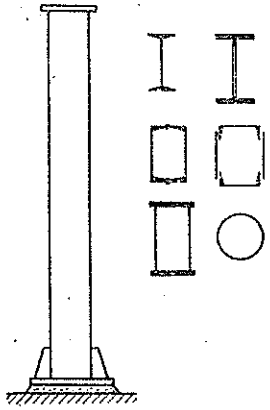


Fig. IX.1. Stîlp cu secțiune plină.

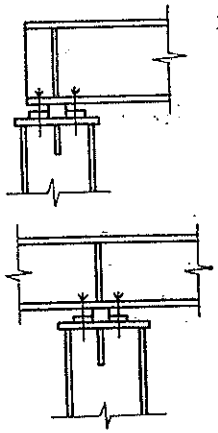


Fig. IX.2. Legături articulate între stîlpi și rigle.

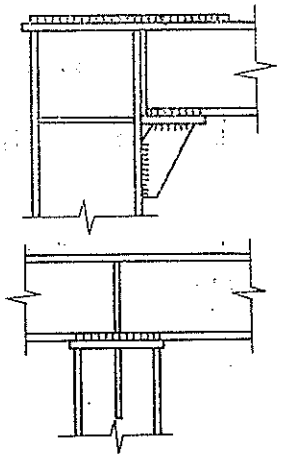


Fig. IX.3. Legături rigide între stîlpi și rigle.

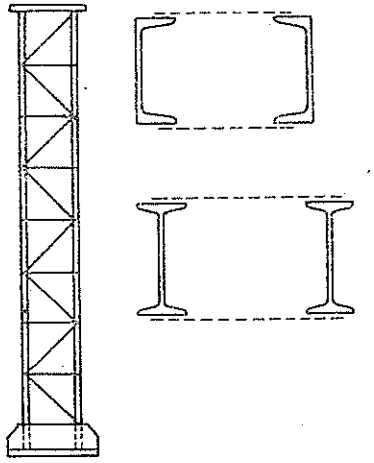


Fig. IX.4. Stîlpi din elemente depărtate.

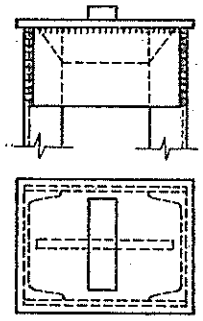


Fig. IX.5. Amenajarea capătului stîlpului.

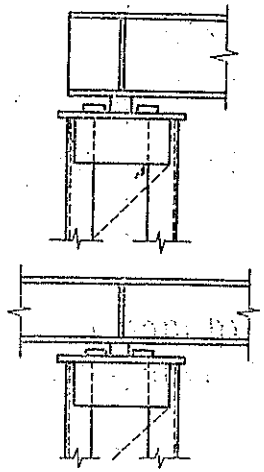


Fig. IX.6. Legături articulate între stîlpi și rigle.

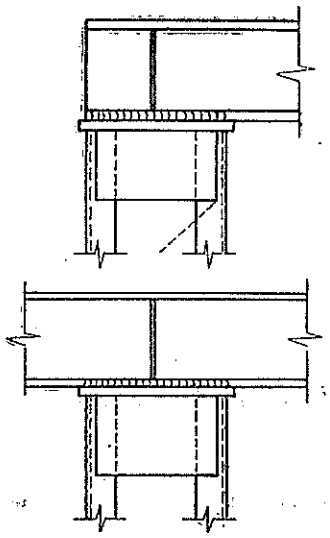


Fig. IX.7. Legături rigide între stîlpi și rigle.

Prinderea riglelor cadrului de stîlp se poate face ca în fig. IX.6, în cazul prinderilor articulate și ca în fig. IX.7, în cazul prinderilor rigide.

c. Bazele stîlpilor

Stîlpii sînt de regulă încastrați în fundații în planul în care se exercită solicitări de încovoiere mai importante.

În cazul stîlpilor cu secțiune plină și cu solicitări mici, baza este formată dintr-o placă orizontală, cu suprafața necesară transmiterii presiunilor, care se sudează de stîlpi (fig. IX.8); placa, cu grosimea de cel puțin 30 mm, se prinde de fundație cu buloane de ancoraj.

Cînd suprafața plăcii rezultă mare, se prevăd și nervuri care întăresc placa de rezemare; bazele stîlpilor din elemente depărtate au o placă de rezemare și două plăci verticale care leagă cele două elemente; plăcile verticale se sudează de placa de bază și de ramurile stîlpilor, care sînt și ele sudate de placa de bază.

În funcție de forma secțiunii stîlpului și de valoarea și natura solicitărilor pe care baza le are de transmis de la stîlp la fundație, bazele stîlpilor pot fi alcătuite și în alte moduri; se urmărește să se adopte forme cît mai simple și montajul stîlpilor să se facă ușor.

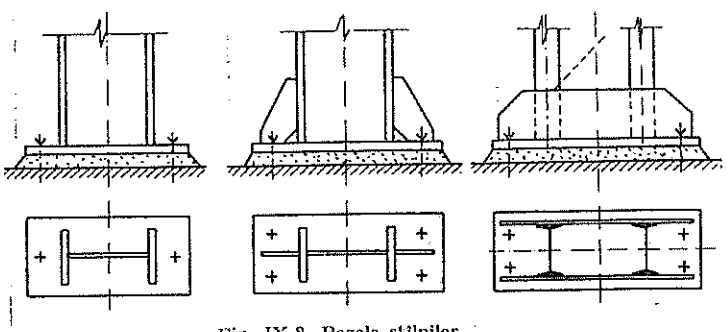


Fig. IX.8.. Bazele stîlpilor.

2. Stîlpi pentru hale cu mijloace de ridicare și transport

a. Stîlpi cu secțiune plină

Stîlpii cu secțiune plină pentru halele care au mijloace de ridicare și transport, ale căror căi de rulare sînt susținute de stîlpi, pot fi cu secțiune constantă pe toată înălțimea sau secțiunea variază pe lungimea stîlpilor în trepte. La stîlpii cu secțiune constantă grinda căii de rulare a podului rulant este așezată pe console; o astfel de soluție se adoptă pentru poduri rulante cu o capacitate de ridicare mică, de obicei pînă la 20 t. Pentru poduri rulante mai grele, stîlpul prezintă o retragere la nivelul grinzii căii de rulare, porțiunea de sub grindă avînd o secțiune mai înaltă decît cea de deasupra grinzii (fig. IX.9). În unele deschideri ale halelor industriale pot exista cîte două poduri rulante cu grinzile căilor de rulare la niveluri diferite; în asemenea cazuri de regulă podul care are capacitatea de ridicare mai mică se așază sus și grinzile căilor de rulare reazemă deseori pe console.

Secțiunile stîlpilor sînt în general alcătuite din două tălpi și o inimă; tălpile sînt din table groase, din profile laminate U sau dublu T, acestea putînd fi alcătuite din table în formă de dublu T; secțiunile pot fi nesimetrice. Porțiunea de deasupra grinzilor căilor de rulare este alcătuită din două tălpi și o inimă sau tălpile pot fi din profile laminate, ca și în porțiunea de jos, dar cu o secțiune mai mică. Secțiunile stîlpilor pot fi tubulare, cînd solicitările sînt mari (fig. IX.10). Peste nivelul șinei căii de rulare se amenajează în stîlpi goluri pentru trecerea oamenilor care întrețin căile grinzilor de rulare (fig. IX.11); golurile se fac în inima stîlpilor și se întăresc cu platbande; asemenea goluri pot fi prevăzute și la alte niveluri pentru circulație sau pentru trecerea unor conducte, a unor benzi de transport etc.

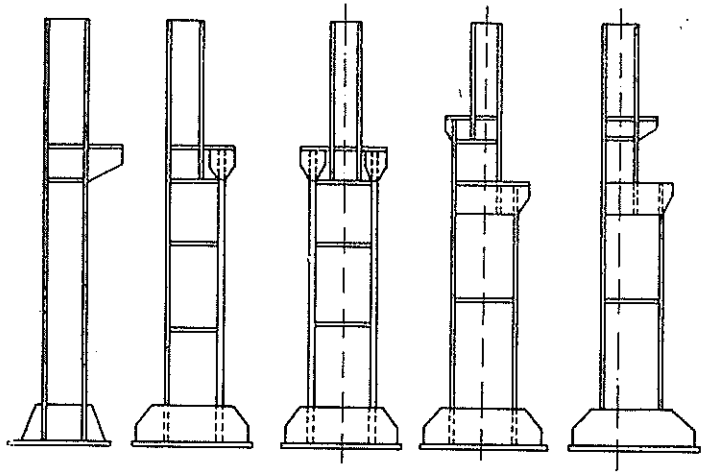


Fig. IX.9. Stîlpi cu secțiune plină.

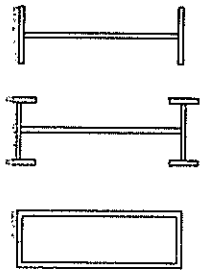


Fig. IX.10. Secțiunile stîlpilor.

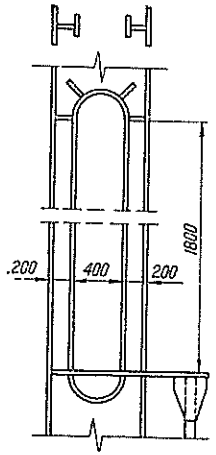


Fig. IX.11. Trecere prin stîlpi.

La schimbarea secțiunilor stîlpilor se fac unele amenajări care să permită așezarea grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante și să asigure secțiunii stîlpului capacitatea de a suporta solicitările la care este supus în această secțiune. Unele exemple de rezolvare sînt prezentate în fig. IX.12.

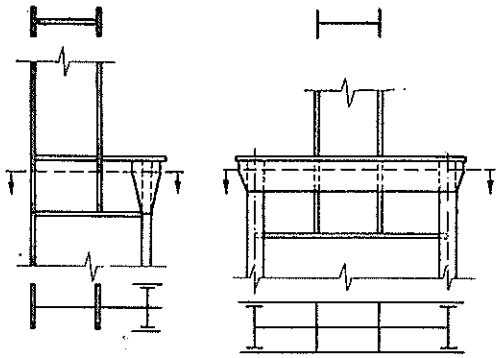


Fig. IX.12. Detalii la schimbarea secțiunilor stîlpilor.

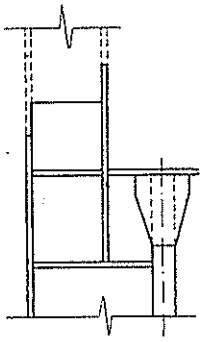


Fig. IX.13. Înnădirea stîlpilor.

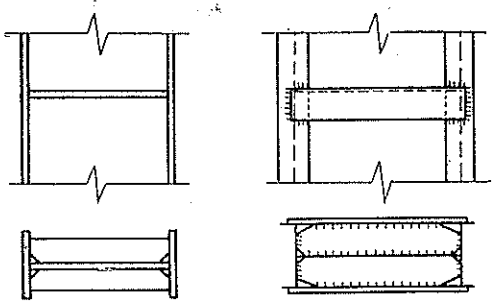


Fig. IX.14. Rigidizările stîlpilor.

Stîlpii cu secțiuni mari și cu înălțimi care depășesc lungimea ce poate fi transportată se înnădesc; înnădirea se face imediat deasupra locului de schimbare a secțiunii (fig. IX.13),

La stîlpii care au raportul dintre înălțimea și grosimea inimii h/t mai mare ca 70 se prevăd rigidizări transversale, așezate la intervale de la 2,5 h la 3,0 h; astfel de rigidizări se așază oriunde se transmit acțiuni orizontale mari.

La stîlpii cu ramurile verticale dezvoltate se prevăd din distanță în distanță rigidizări transversale mai puternice (fig. IX.14).

b. Stîlpi din elemente depărtate

Stîlpii halelor care sînt dotate cu mijloace de ridicare și transport, alcătuiți din elemente depărtate, se solidarizează cu zăbrelițe (fig. IX.15). Stîlpii cu secțiune constantă și console au consolele alcătuite din două

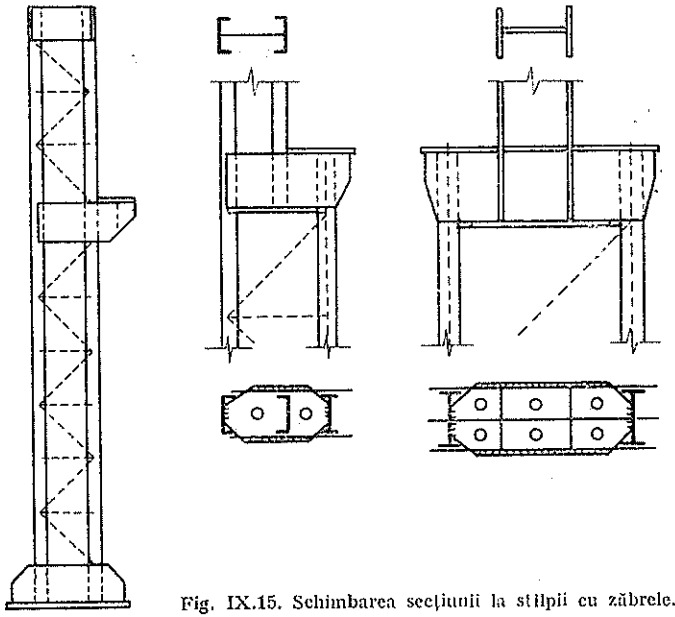


Fig. IX.15. Schimbarea secțiunii la stîlpii cu zăbrele.

plăci așezate lateral ramurilor stîlpului; partea consolei din afara stîlpului este acoperită cu o placă orizontală, cele două elemente ale consolei fiind rigidizate între ele în dreptul grinzii căii de rulare; pe restul înălțimii stîlpului sînt prevăzute zăbrelițe.

Stîlpii cu variație de secțiune au la schimbarea secțiunii o alcătuire asemănătoare celei de la stîlpii cu secțiune plină; partea superioară a stîlpului se execută de obicei cu secțiune plină, iar la partea inferioară ramurile sînt solidarizate între ele cu zăbrelițe.

c. Legătura dintre riglele cadrului și stîlpi

La structurile cu rigla alcătuită dintr-o grindă cu inima plină, pentru legătura articulată la partea superioară a stîlpului se adoptă soluții asemănătoare celor de la stîlpii halelor fără mijloace de ridicare și transport (v. fig. IX.2). În cazul cînd în aceeași situație legătura între rigla cu secțiune plină și stîlpi se face rigid, soluțiile din fig. IX.3 se pot aplica și în acest caz, dacă acestea corespund solicitărilor nodurilor. Cînd solicitările

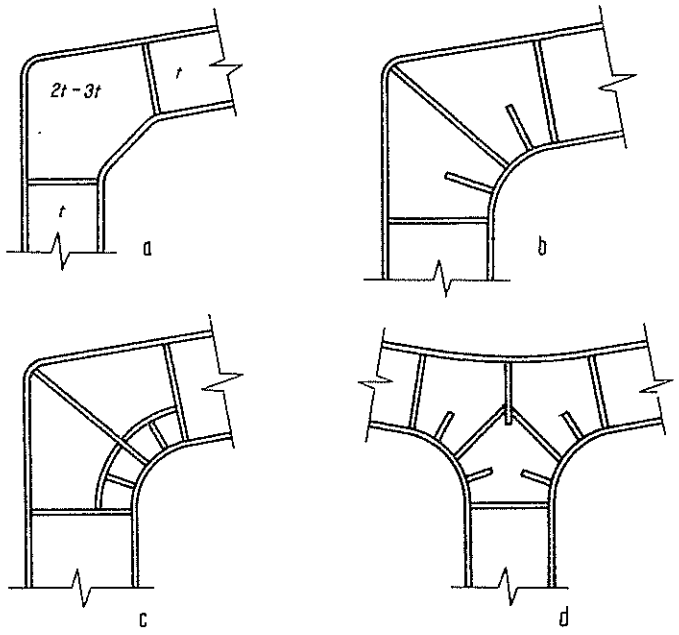


Fig. IX.16. Colțuri de cadre.

sînt mari, prinderea devine mai dezvoltată și se amenajează colțuri de cadru. În fig. IX.16 sînt date unele exemple.

La structurile care au riglele alcătuite din ferme prinderea acestora de stîlp se rezolvă corespunzător modului cum este considerată legătura în schema statică a structurii. Fermele pot fi articulate fiecare la legătura cu stîlpii, pot fi continue pe mai multe deschideri, dar legate articulat de stîlpi sau pot fi legate rigid, formînd cadre cu noduri rigide.

Fermele triunghiulare sau trapezoidale articulate la capete pe fiecare deschidere se așază de regulă pe capătul stîlpului; plăcuțele de rezemare sînt fixate de placa de reazem a fermei; pentru transmiterea forțelor orizontale în planul fermei se prevăd praguri sudate de placa din capătul stîlpului; ferma se leagă de stîlp cu șuruburi (fig. IX.17, *a*). Fermele trapezoidale se așază în același mod, talpa inferioară prinzîndu-se de stîlp cu un șurub, în guseu fiind dată o gaură ovală. În fig. IX.17, *b* este arătată o soluție pentru rezemarea pe un stîlp central.

Prinderea de stîlp, în cazul cînd fermele sînt legate continuu pe mai multe deschideri, se poate face ca în fig. IX.17,*c*, bara tălpii inferioare legîndu-se de stîlp cu șuruburi în guseu fiind o gaură ovală; continui-

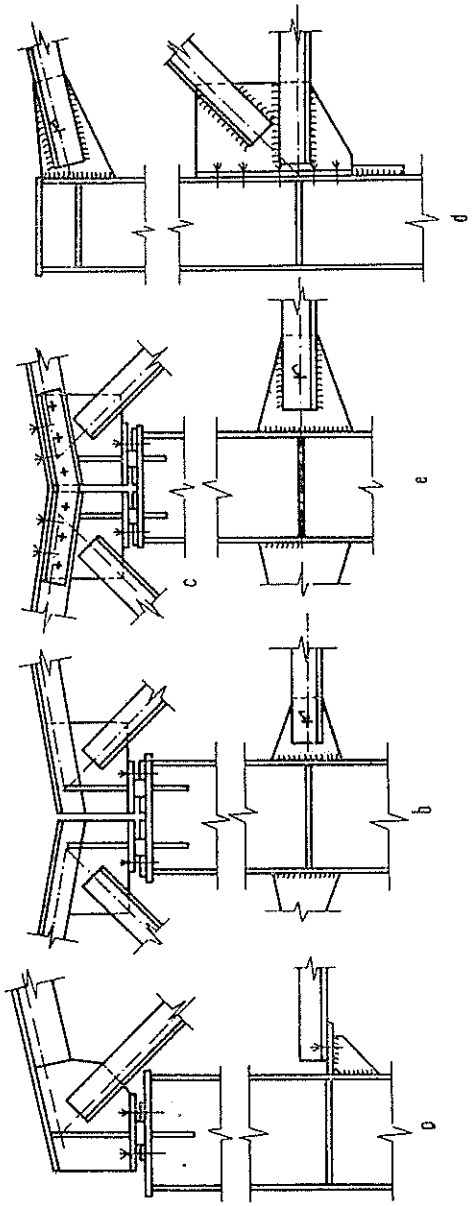


Fig. IX.17. Legăturile fermelor cu stîlpii.

talpa fermelor se asigură cu două eclise corniere și, dacă este necesar și cu o eclisă așezată pe tălpile superioare ale cornierilor.

Prinderea rigidă a fermelor de stîlpi se poate face ca în fig. IX.17,*a* și IX.17,*c*, talpa inferioară a fermei legîndu-se de stîlp ca în fig. IX.17,*d*.

Prinderea rigidă a fermelor de stîlp se poate face și ca în fig. IX.17,*e*, atît de stîlpii de margine, cît și la cei interiori, talpa inferioară legîndu-se de stîlp la efortul care îi revine din legătura de continuitate.

3. Bazele stîlpilor

a. Baze pentru stîlpi cu secțiune plină

La halele cu mijloace de ridicare și transport bazele stîlpilor pot ajunge la forme foarte dezvoltate impuse de valoarea solicitărilor pe care le transmit de la structură la fundații.

În fig. IX.18 sînt prezentate exemple de rezolvare a unor baze dezvoltate pentru stîlpi cu secțiune plină, care permit montarea cu ușurință a stîlpilor pe fundații. Plăcuțele de sub capetele buloanelor sînt prinse de piesele în consolă după așezarea stîlpului în poziția corectă; grinzile din două profile, de care se fixează buloanele de ancoraj, se așază pe plăcile laterale ale bazei după aducerea stîlpului în poziția definitivă, ceea ce ușurează montarea stîlpului.

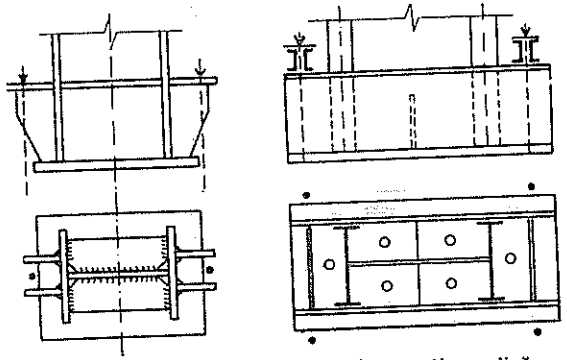


Fig. IX.18. Baze pentru stîlpi grei cu secțiune plină.

b. Baze pentru stîlpi din elemente depărtate

Bazele stîlpilor din elemente depărtate la hale cu mijloace de ridicare și transport sînt în general foarte dezvoltate. Sînt alcătuite dintr-o placă de bază de care sînt prinse ramurile stîlpului și din două plăci verticale sudate de ramurile stîlpului și de placa de bază. Buloanele de ancoraj sînt fixate pe grinzi alcătuite din două profile U depărtate, care sînt așezate la capetele plăcilor verticale; buloanele de ancoraj trec în afara bazei stîlpului. Cînd sînt necesare cîte trei buloane de ancoraj de fiecare parte a bazei, placa de

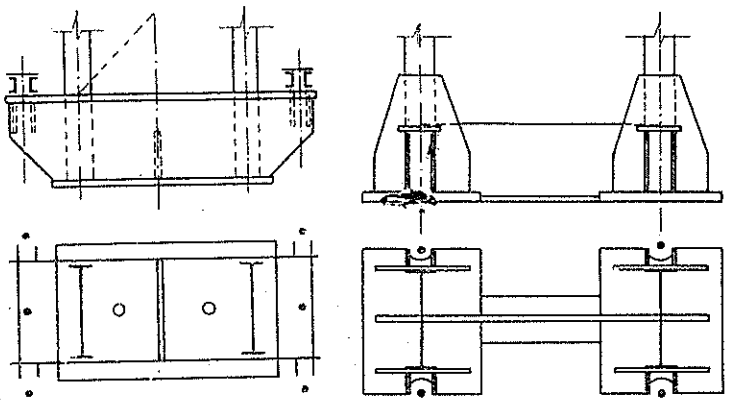


Fig. IX.19. Baze pentru stîlpi grei din elemente depărtate.

bază se face mai scurtă decît partea superioară a plăcilor laterale pe care sînt așezate grinzile.

Grinzile nu sînt sudate de baza stîlpului și se așază la montaj, după ce stîlpul a fost adus în poziția cerută de proiect. Acest mod de amenajare a bazei stîlpului îngăduie un montaj ușor, chiar dacă abaterile de așezare a buloanelor sînt ceva mai mari (fig. IX.19).

O altă soluție aplicată cînd distanța între ramuri este mare constă în a prevedea pentru fiecare ramură cîte o bază separată; cele două baze sînt legate între ele printr-o placă sudată de cele două baze și printr-o inimă sudată de ramuri. Și în acest caz prinderea buloanelor de ancoraj se poate face astfel încît montajul stîlpului să fie cît mai simplu.

X. Contravîntuirile scheletului structurilor halelor

1. Necesitatea contravîntuirii construcțiilor halelor industriale

a. Contravîntuirile și rolul lor

Construcția unei hale metalice industriale oricare ar fi mărimea și importanța acesteia este necesar să fie prevăzută cu unele contravîntuiri a căror așezare și dezvoltare variază de la unele categorii de hale la altele.

Contravîntuirile iau forțele transversale structurii de rezistență, cînd elementele acestora au o dezvoltare plană în sens vertical; în această categorie intră de exemplu contravîntuirile transversale din planul acoperișului așezate la capetele halelor, contravîntuirile verticale ale șirurilor longitudinale de stîlpi etc.

Alte contravîntuiri asigură, în principal, stabilitatea unor elemente ale structurii de rezistență, creînd puncte fixe nedeplasabile; contravîntuirile orizontale transversale din planul acoperișului așezate la rosturile construcției halelor sau între acestea la halele lungi au în principal această funcție.

În ansamblul lor, contravîntuirile dau construcției halei rigiditatea necesară; este recomandabil ca rigiditatea ansamblului construcției să fie realizată prin contravîntuiri și diverse legături, distribuite și așezate corespunzător necesităților, și nu prin dezvoltarea structurii de rezistență.

La halele metalice care au unele structuri transversale cu rigiditate mai mică decît alte structuri vecine, deformațiile transversale ale structurilor pot fi diferite de la o structură la alta; prin așezarea unor contravîntuiri se poate limita sau înlătura acest efect; aceste contravîntuiri se așază în planul acoperișului, orizontal și în lungul halei.

Contravîntuirile pot forma reazeme pentru unele elemente ale construcției, contribuind la o comportare mai avantajoasă a acestor elemente; astfel, stîlpii frontoanelor și stîlpii intermediari din pereții laterali ai halelor reazemă pe contravîntuirile orizontale de la nivelul acoperișului.

Conlucrarea spațială a construcției halelor este asigurată de asemenea prin prevederea unor contravîntuiri concepute și așezate astfel încît să contribuie cît mai bine la realizarea acestui scop.

Diversele contravîntuiri asigură, în general, mai multe din obiectivele arătate mai înainte.

b. Așezarea contravîntuirilor

Contravîntuirile sînt alcătuite din grinzi cu zăbrele cu tălpi paralele. Unele contravîntuiri sînt așezate la nivelul și în planul acoperișului, transversal halei între două ferme vecine; în general aceste contravîntuiri se prevăd între tălpile superioare ale fermelor sau riglelor cadrelor structurilor transversale; la halele grele apare deseori necesitatea să se monteze o contravîntuire transversală și la nivelul tălpilor inferioare ale fermelor. Contravîntuirile transversale au reazemele la partea superioară a stîlpilor structurilor transversale, cărora le transmit încărcările pe care le primesc.

De cele mai multe ori, între cele două ferme între care se găsesc contravîntuirile transversale, este necesar să se prevadă și contravîntuiri verticale în planul unor montanți ai fermelor, îndeosebi cînd deschiderea fermelor este mare. În cazurile în care în traveea respectivă sînt contravîntuiri transversale la tălpile superioare și inferioare ale fermelor, contravîntuirile

verticale contribuie la formarea unei ferme spațiale, alcătuită din cele două ferme și cele două contravîntuiri transversale, legate între ele prin contravîntuirile verticale.

Alte contravîntuiri sînt așezate pe marginea deschiderilor halei, în lungul halei, în planul tălpilor superioare ale fermelor sau riglelor structurii sau la talpa inferioară a fermelor. Aceste contravîntuiri pot lipsi la hale cu regim de lucru ușor.

Prin șirurile longitudinale de stîlpi se așază în unele travee contravîntuiri verticale a căror dezvoltare este în funcție de mărimea halei și de acțiunile pe care le au de suportat.

Unele din aceste contravîntuiri se prevăd și la luminătoarele de pe acoperișul halelor.

2. Contravîntuiri transversale halei la nivelul acoperișului

a. Hale fără poduri rulante sau cu poduri rulante mici

La astfel de hale se prevăd, în general, contravîntuiri transversale halei la talpa superioară a fermelor; cînd există mijloace de ridicare și transport suspendate de ferme poate apărea necesar să se prevadă o contravîntuire transversală și la nivelul tălpii inferioare. Zăbrelele acestor contravîntuiri sînt obișnuit în sistemul cu bare încrucișate, care este mai rigid și care permite legarea panelor și la încrucișarea diagonalelor (fig. X.1). Contravîntuirea se așază în prima travee de la fronton; o asemenea contravîntuire se așază și în traveele vecine rostului de dilatare al halei.

La halele lungi este indicat să se așeze și contravîntuiri transversale intermediare, astfel ca distanța între contravîntuiri să fie de aproximativ 70 m.

Luminătoarele longitudinale ale halelor încep în general din traveea a doua de la capătul halei; în acest caz, dacă sînt luminătoare, contravîntuirile transversale se așază uneori în traveea a doua de la capătul halei.

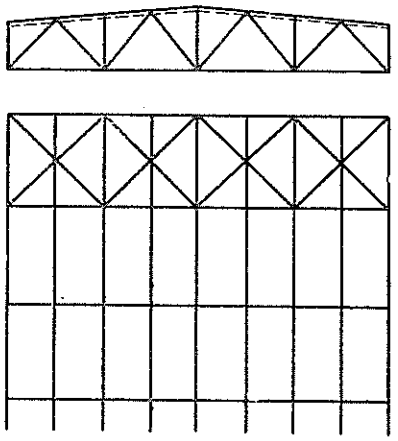


Fig. X.1. Contravîntuiri transversale la talpa superioară.

Contravîntuirea transversală se continuă și sub luminător, urmărindu-se să se realizeze o grindă cu zăbrele completă pe întreaga deschidere; dacă este necesar, în golul luminătorului se introduc legături între tălpile contravîntuirilor în locul panelor care lipsesc.

Tălpile contravîntuirii transversale sînt chiar tălpile fermei sau riglei, iar montanții sînt panele care susțin învelitoarea, dacă învelitoarea este așezată pe pane; diagonalele sînt alcătuite din elemente introduse în acest scop; cînd lipsesc panele se prevăd bare care înlocuiesc panele lipsă.

La halele la care distanța între ferme este mare, de exemplu 12 m, se introduce o talpă la 6 m distanță de la fermă, susținută de pane, pentru a se evita o contravîntuire cu înălțime prea mare.

b. Hale cu poduri rulante grele

La halele cu poduri rulante grele și mai ales foarte grele cu riglele alcătuite din ferme se prevăd, în general, contravîntuiri transversale la ambele tălpi ale fermelor. Cînd halele sînt grele, în afară de contravîntuirile de la capete și de la rosturile halelor, se mai așază contravîntuiri intermediare; distanța între contravîntuirile transversale este bine să fie între 40 și 60 m.

În asemenea situații sînt necesare și contravîntuiri verticale, care leagă cele două contravîntuiri transversale și fermele între ele (fig. X.2); astfel de contravîntuiri se prevăd pe reazemele fermelor și în dreptul montanților de margine ai luminătoarelor. Dacă deschiderea fermelor este mare, de regulă peste 24 m, se mai prevăd și alte contravîntuiri verticale intermediare. La halele fără luminătoare, în afara contravîntuirilor de pe reazeme, se așază o contravîntuire verticală la mijlocul deschiderilor fermelor. Contravîntuirile verticale uniformizează încărcările între cele două contravîntuiri transversale, impunînd deformări transversale fermelor practic egale. Cînd există numai o contravîntuire transversală la talpa superioară sau numai la talpa inferioară a fermelor, contravîntuirile verticale dintre ferme transmit la contravîntuirea transversală diferitele forțe transversale planului fermelor care provin din diferite cauze, ca cele rezultate din rezemarea stîlpilor frontoanelor, de la căile mijloacelor de ridicare și transport susținute de ferme etc.

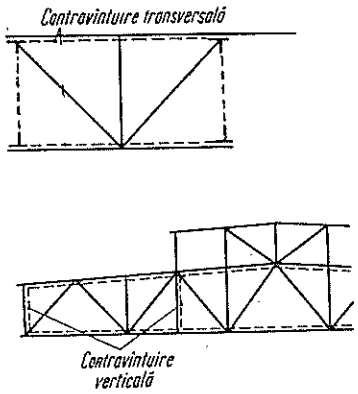


Fig. X.2. Contravîntuiri transversale și verticale.

3. Contravîntuiri longitudinale halei

a. Contravîntuiri longitudinale în general

Halele cu poduri rulante, grele, înalte necesită contravîntuiri longitudinale halei, dispuse în planul acoperișului, care pot avea diferite roluri; constituie reazeme pentru stîlpii intermediari din pereții halelor, uniformizează efectele acțiunilor transversale orizontale, asigură o mai bună rigidizare a ansamblului construcției.

Contravîntuirile longitudinale se așază în general în planul învelitorii, la talpa superioară a fermelor; în unele cazuri, contravîntuirile longitudinale se așază la talpa inferioară a fermelor (fig. X.3). Este indicat să se asigure o continuitate între contravîntuirile transversale halei și cele longitudinale, așezîndu-le în același plan; această procedare asigură o mai bună rigidizare ansamblului construcției halei.

Sistemul de zăbrele este triunghiular cu montanți suplimentari; tălpile, la contravîntuirile de la talpa superioară, sînt de regulă formate din panelele acoperișului.

La halele cu mai multe deschideri, contravîntuirile longitudinale se pot prevedea în fiecare deschidere; cînd acoperișul halei este la același nivel, se poate renunța la contravîntuirile din unele deschideri; de exemplu, la o hală cu trei deschideri se poate să nu se așeze contravîntuirile longitudinale în deschiderea centrală (fig. X.4).

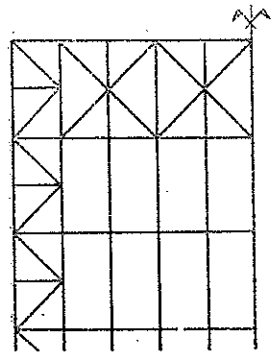


Fig. X.3. Contravîntuiri longitudinale.

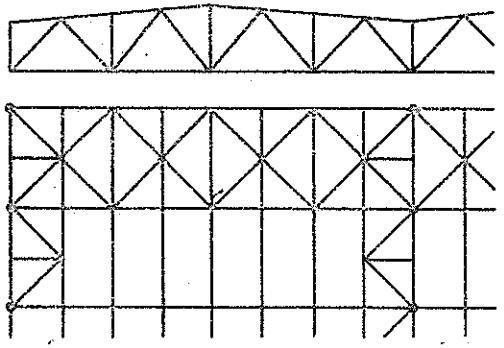


Fig. X.4. Contravîntuiri la hale cu mai multe deschideri.

b. Contravîntuiri care asigură conlucrarea spațială

Contravîntuirile longitudinale halelor din planul acoperișului pot avea un rol important în asigurarea conlucrării spațiale a halelor metalice; pentru aceasta, alcătuirea și detalierea lor trebuie să corespundă rolului pe care au să-l îndeplinească în această situație.

Contravîntuirile longitudinale halei, pentru a asigura conlucrarea, este necesar să aibă o dezvoltare corespunzătoare, astfel ca rigiditatea lor să fie în concordanță cu rigiditatea cadrelor transversale ale structurii de rezistență. La halele grele sînt necesare contravîntuiri longitudinale halei suficient de dezvoltate; din această cauză înălțimea acestora rezultă din distanța între două pane vecine este posibil să nu fie suficientă; pot exista cazuri cînd înălțimea contravîntuirii trebuie să se ia egală cu două sau mai multe intervale dintre pane. Se ține seamă că panele care formează tălpile contravîntuirilor longitudinale primesc solicitări uneori importante din această conlucrare și deci este necesar să fie alcătuite și dimensionate ținîndu-se seamă și de aceste solicitări.

Contravîntuirile longitudinale, cînd asigură conlucrarea spațială, sînt din punct de vedere static grinzi cu zăbrele continue pe toată lungimea halei; alcătuirea prinderilor și înnădirilor tălpilor vor fi rezolvate ținîndu-se seama de această situație. Legarea rigidă a contravîntuirilor longitudinale de contravîntuirile transversale din planul acoperișului aduce în general avantaje în ceea ce privește conlucrarea spațială și comportarea halei.

4. Contravîntuiri la diferite șarpante și luminătoare

a. Contravîntuiri la diferite șarpante

La halele la care alcătuirea șarpantelor este rezolvată într-o formă diferită de cea obișnuită, contravîntuirile șarpantei vor avea alcătuiri și așezări impuse de forma șarpantei.

La șarpantele cu luminătoare triunghiulare cu învelitoarea la partea de jos a fermelor, contravîntuirile transversale din planul învelitorii se așază la talpa inferioară a fermelor (fig. X.5); contravîntuirile verticale dintre ferme lipsesc; barele care leagă panele de talpa superioară a fermelor fac să nu mai fie necesare aceste contravîntuiri. Contravîntuirile

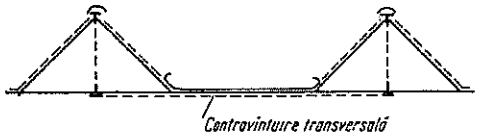


Fig. X.5. Contravîntuiri transversale la hale cu învelitoare la talpa inferioară a fermelor.

orizontale longitudinale halei, în cazul cînd sînt necesare, se așază la talpa inferioară a fermelor, putîndu-se lua și în acest caz în considerare conlucrarea spațială.

Fig. X.6. Contravîntuiri transversale la învelitori sus și jos.

În cazul șarpantelor la care învelitoarea este așezată alternativ, într-o travee la talpa superioară a fermelor și în alta la partea inferioară (fig. X.6), este necesar să se prevadă cîte o contravîntuire transversală între cele două ferme unde învelitoarea este sus; contravîntuirile verticale între ferme este necesar să fie așezate mai des, la două trei noduri interval. Contravîntuirile orizontale longitudinale se așază la talpa orizontală a fermelor.

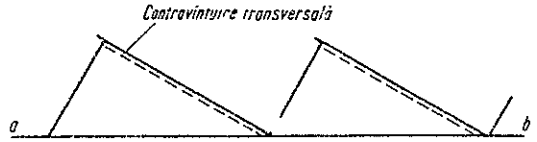


Fig. X.7. Contravîntuiri la hale cu ședuri.

La halele cu acoperișurile în formă de ședuri așezarea unor contravîntuiri este impusă de forma și alcătuirea grinzilor ședurilor. În cazul cînd învelitoarea nu alcătuiește o șaibă, este necesar ca în planul învelitorii să se prevadă contravîntuiri transversale (fig. X.7). Dacă sînt necesare contravîntuiri orizontale longitudinale halei, acestea se prind pe linia $a-b$, una din tălpi alcătuind-o bara de legătură din capătul stîlpilor.

b. Contravîntuirile luminătoarelor

Construcțiile luminătoarelor așezate peste acoperișurile halelor au unele contravîntuiri care primesc acțiuni exterioare sau asigură rigiditatea structurii luminătoarelor; în unele cazuri au rolul să asigure reducerea lungimilor de flambaj a unor bare. Dezvoltarea și forma acestor contravîntuiri este specifică mărimii și formei luminătoarelor.

În cazul luminătoarelor triunghiulare pot fi necesare contravîntuiri în planul ferestrelor, care se așază la distanțe mari, în una sau două travee pe intervalul dintre două rosturi ale halei (fig. X.8).

La luminătoarele așezate în lungul halelor, care au o alcătuire asemănătoare unei hale la dimensiuni reduse, se așază contravîntuiri transversale

Fig. X.8. Contravîntuiri la luminătoare triunghiulare.

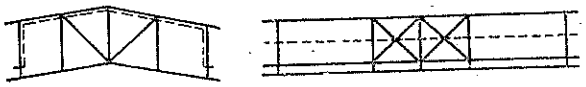


Fig. X.9. Contravîntuiri la luminătoare longitudinale halei.

în planul învelitorii la capetele luminătoarelor și la rosturi, cum și contravîntuiri verticale în planul stîlpilor verticali, în una sau două travee; aceste contravîntuiri au o dezvoltare mai redusă decît cele ale halelor, dar în principiu au același rol (fig. X.9).

Cînd înălțimea luminătoarelor este mare poate apărea necesar să se prevadă bare orizonale care să lege montanții de margine ai luminătorului de contravîntuirile verticale din pereți.

5. Contravîntuirile stîlpilor halelor

a. Hale fără poduri rulante sau cu poduri rulante mici

La astfel de hale contravîntuirile șirurilor de stîlpi pot lipsi complet sau au forme simple, puțin dezvoltate. Stîlpii unor astfel de hale primesc de la șarpanta acoperișului forțe provenite din acțiunea vîntului pe frontoanele halei; dacă sînt poduri rulante apar și forțe rezultate din frînarea podurilor rulante. Astfel de hale au, în general, o înălțime mică și de aceea și solicitările în lungul șirurilor de stîlpi nu sînt mari. După modul de alcătuire al stîlpului poate apărea necesitatea de a se introduce unele legături longitudinale între stîlpi în scopul reducerii lungimilor de flambaj. În funcție de aceste situații, legăturile și contravîntuirile șirurilor de stîlpi în lungul halei capătă diferite rezolvări.

Cînd stîlpii sînt încastrați în planul longitudinal halei și nu sînt poduri rulante poate fi suficient să se lege stîlpii la capetele lor printr-o riglă longitudinală (fig. X.10, *a*); dacă stîlpii nu sînt suficient dezvoltați în planul longitudinal halei, se poate introduce spre mijlocul lungimii halei un cadru, care să primească forțele din lungul halei de la nivelul acoperi-

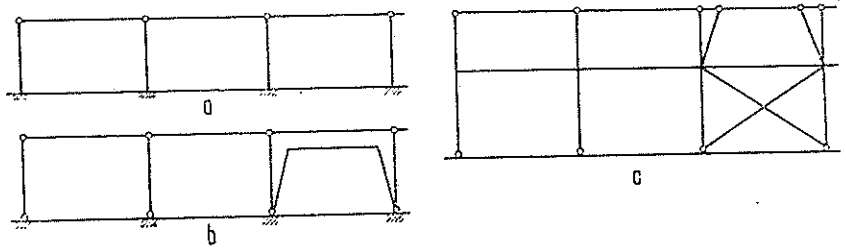


Fig. X.10. Contravîntuirile stîlpilor la hale ușoare.

șului și să le transmită la fundație (fig. X.10, *b*). Cînd hala este mai înaltă, dacă sînt și alte forțe aplicate la un nivel oarecare al înălțimii stîlpilor, se introduc una sau două contravîntuiri verticale așezate între două rosturi ale halei la o distanță de 2—3 travee de la rosturi (fig. X.10, *c*).

b. Hale grele

La halele grele contravîntuirile verticale ale șirurilor longitudinale de stîlpi sînt, în general, dezvoltate, datorită forțelor mari pe care le primesc și înălțimii mari a halelor.

Dezvoltarea și numărul contravîntuirilor așezate pe lungimea unei hale sau pe distanța dintre două rosturi variază după mărimea forțelor longitudinale halei pe care trebuie să le suporte și să le transmită la fundație.

În general, la halele scurte se așază pe fiecare șir de stîlpi o singură contravîntuire verticală la mijlocul lungimii halei; la halele lungi, peste 90 m, se așază două asemenea contravîntuiri, o singură contravîntuire fiind insuficientă pentru asigurarea rigidității longitudinale a halei. Cînd sînt două contravîntuiri, acestea se așază fiecare aproximativ la o treime din lungimea halei; nu este indicat să se așeze contravîntuirile verticale la capetele halei, deoarece acestea ar împiedica deformațiile construcției sub influența variațiilor de temperatură și ar conduce în acest caz la o serie de solicitări mari în legăturile dintre stîlpii din lungul halei. La halele cu poduri rulante, porțiunilor stîlpilor de deasupra grinzilor căilor podurilor rulante sînt mult mai puțin rigide decît porțiunile de sub grinzile căilor podurilor rulante; în asemenea situații se pot prevedea contravîntuiri verticale între stîlpi, în traveea de la capetele halei, alcătuite dintr-o singură diagonală sau două diagonale încrucișate; o asemenea rezolvare are avantajul că asigură transmiterea presiunilor vîntului de pe frontoane, luate de contravîntuirea transversală, la contravîntuirile verticale de la partea inferioară prin intermediul legăturilor dintre stîlpi de la nivelul grinzilor căilor de rulare.

Pentru alcătuirea contravîntuirilor verticale ale stîlpilor se pot adopta diferite soluții; în fig. X.11 sînt arătate unele exemple.

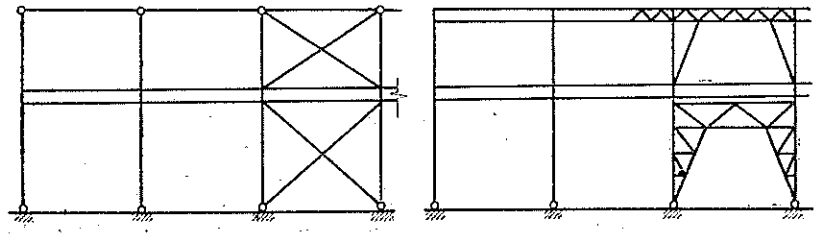


Fig. X.11. Contravîntuirile stîlpilor la hale grele.

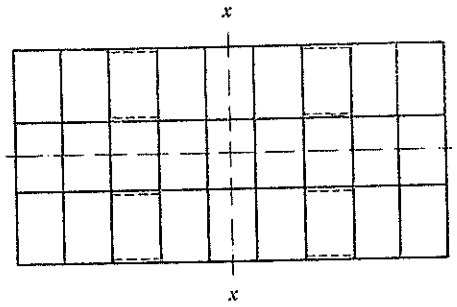


Fig. X.12. Așezarea în plan a contravîntuirilor.

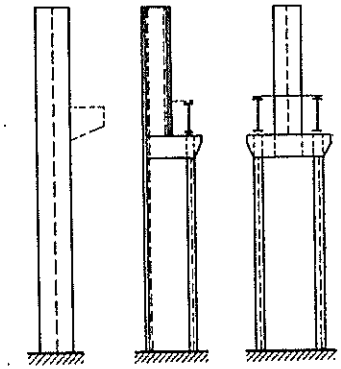


Fig. X.13. Poziția contravîntuirilor în plan vertical.

Așezarea în plan pe diferite șiruri de stîlpi a contravîntuirilor verticale se recomandă să se facă în aceeași travee și astfel încît pozițiile contravîntuirilor să fie simetrice și față de axa $x—x$ a halei; cînd nu este posibil, abaterile vor fi cît mai mici (fig. X.12). În același timp este indicat să se asigure, pe cît posibil, aceeași rigiditate tuturor șirurilor de stîlpi.

Așezarea contravîntuirilor în plan vertical față de stîlpi se poate face în axa stîlpilor la halele ușoare fără poduri rulante sau cu poduri rulante mici, grinzile căilor podurilor rulante fiind pe console; în cazul halelor grele, se pot așeza sus, în axa părții superioare, și jos sub fiecare grindă de rulare a podurilor rulante, cele două elemente ale contravîntuirilor de sub căile de rulare fiind solidarizate între ele (fig. X.13).

6. Detalii constructive

a. Alcătuirea barelor și prinderea contravîntuirilor acoperișului

Barele contravîntuirilor acoperișului sînt alcătuite obișnuit din corniere.

Zăbrelele contravîntuirilor transversale (diagonalele) așezate la talpa superioară a fermelor se fac dintr-o singură cornieră și așezarea lor se poate face ca în fig. X.14, *a*. La nodul de întîlnire a diagonalelor cu pana, una din diagonale se întrerupe, cealaltă trecînd continuu pe sub pană (fig. X.14, *b*).

În cazul contravîntuirilor transversale, așezate la talpa inferioară a fermelor, se prevăd diagonale și montanți, alcătuirea și așezarea diagonalelor fiind ca și la contravîntuirile așezate la talpa superioară; prinderea de

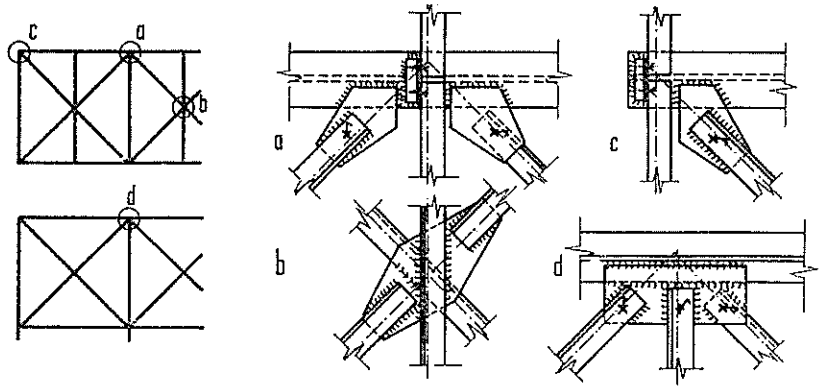


Fig. X.14. Prinderea contravîntuirilor orizontale transversale.

talpă se face ca în fig. X.14, *c* și *d*. La intersecție cele două diagonale se prind între ele cu un șurub sau prin sudură, fără a se introduce un guseu.

Contravîntuirile verticale care leagă fermele în traveea unde sînt așezate contravîntuiri transversale în planul acoperișului (fig. X.15) au barele formate din montanții fermelor și din pane, elemente noi fiind numai diagonalele și montanții care leagă tălpile inferioare ale fermelor.

Prinderea diagonalelor se alcătuiește ca în fig. X.15, *a* și *b*, iar intersecția ca în fig. X.15, *c*; la intersecție se întrerupe cîte o cornieră de la fiecare diagonală, cealaltă lăsîndu-se continuă.

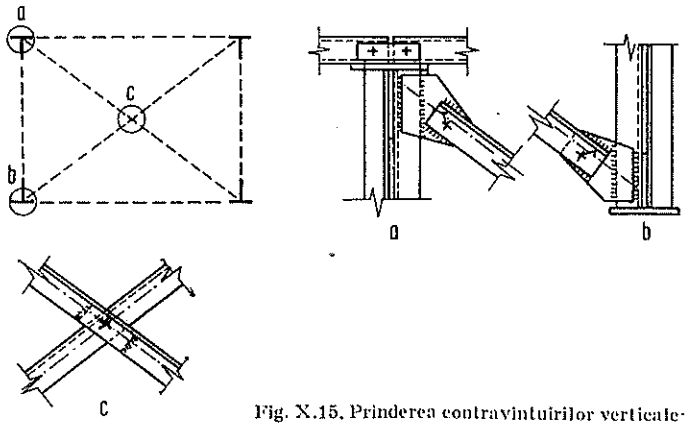


Fig. X.15. Prinderea contravîntuirilor verticale.

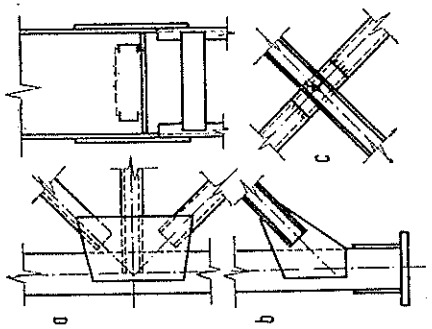


Fig. X.18. Prinderea contravîntuirilor verticale ale stîlpilor la hale ușoare.

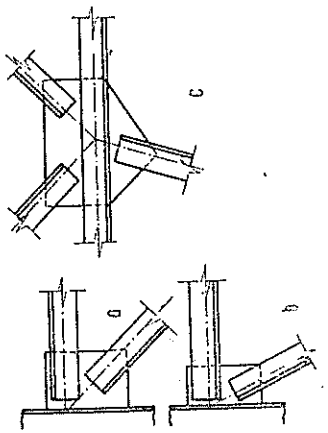


Fig. X.19. Prinderea contravîntuirilor stîlpilor la hale grele.

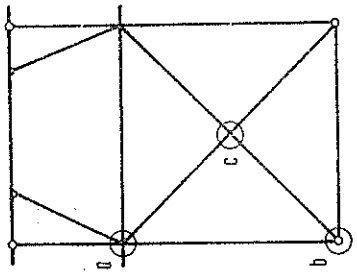


Fig. X.16. Prinderea contravîntuirilor orizontale longitudinale.

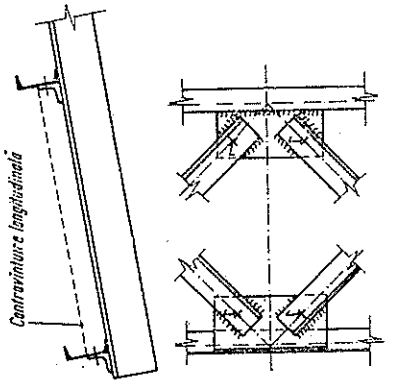


Fig. X.17. Prinderea contravîntuirilor longitudinale în cazul conlucrării spațiale.

La contravîntuirea orizontală longitudinală halei tălpile sînt formate din panele învelitorii, iar montanții sînt riglele structurii transversale de rezistență, adăugîndu-se și montanți suplimentari; diagonalele sînt din corniere. Cînd contravîntuirile longitudinale nu au un rol determinat în conlucrarea spațială, sînt așezate la talpa inferioară a panelor și prinse ca în fig. X.16.

În cazul cînd contravîntuirea longitudinală este luată în considerare la conlucrarea spațială, este recomandabil ca prinderea zăbrelelor să se facă pe linia centrelor de greutate ale secțiunilor panelor; din conlucrarea spațială rezultă în contravîntuirile longitudinale solicitări importante, de care trebuie să se țină seama la alcătuirea lor, a prinderilor și la dimensionare (fig. X.17).

b. Alcătuirea și prinderea contravîntuirilor stîlpilor

Contravîntuirile verticale așezate pe șirurile longitudinale ale stîlpilor halelor se alcătuiesc ținîndu-se seama de valoarea solicitărilor la care sînt supuse în ansamblul halei și de alcătuirea stîlpilor.

La halele fără poduri rulante sau cu poduri rulante mici, cu stîlpii avînd secțiunile în dublu T, o soluție pentru alcătuirea și prinderea contravîntuirilor verticale ale stîlpilor este arătată în fig. X.18. În fig. X.19 este prezentat un mod de rezolvare în cazul cînd contravîntuirea are forma unui portal.

XI. Calculul elementelor structurii

1. Ferme

a. Acțiunile la care sînt supuse fermele

Fermele utilizate la halele metalice industriale fac parte din structura transversală a acestora, formînd riglele structurii de rezistență. În funcție de modul de legătură dintre riglele și stîlpii structurii, fermele primesc diferite solicitări rezultate din acțiunile aplicate direct asupra fermelor și asupra ansamblului structurii.

Acțiunile aplicate direct asupra fermelor unei structuri metalice transversale pot proveni din:

— greutatea acoperișului (învelitoare, pane, contravîntuiri, luminătoare) și greutatea proprie a fermei;
— praf industrial depus pe acoperișul halei;
— zăpadă;

— vînt, care acționează pe unele elemente ale acoperișului;

— acțiuni produse de mijloace de ridicare și transport susținute de ferme;

— acțiuni rezultate din variația de temperatură, locale sau generale;

— diferite instalații susținute de ferme, cum sînt instalațiile de iluminat, încălzit, de ventilație, pasarele pentru cabluri, diferite utilaje fixe;

— încărcările podurilor tehnice, la halele la care sînt prevăzute planșee susținute de ferme pe care sînt așezate diferite utilaje și instalații;

— alte acțiuni, cum ar fi cele care intervin în porțiunile amenajate la unele hale pentru revizia podurilor rulante și unde prin dispozitive susținute de ferme se ridică cărucioarele podurilor rulante;

— cutremur, care poate da și unele efecte directe.

Unele din aceste acțiuni sînt permanente, altele sînt variabile, avînd un caracter temporar, care poate fi de lungă durată sau de scurtă durată; acțiunile temporare pot avea o frecvență mare la valori ridicate sau mici.

Pentru unele din aceste acțiuni, ca și pentru cele care acționează asupra ansamblului halei, valorile normate sînt prevăzute de standardele de încărcări; pentru altele însă proiectantul trebuie să le determine pe baza elementelor tehnologice. O atenție deosebită trebuie acordată încadrării diferitelor acțiuni în categoriile care intervin la alcătuirea grupărilor de acțiuni: temporare de lungă durată, de scurtă durată, accidentale.

Coeficienții acțiunilor sînt prevăzuți în standardele de acțiuni, cînd și acțiunile sînt prevăzute în standardele respective; pentru acțiunile neprevăzute în standarde, coeficienții acțiunilor se determină de proiectant, ținîndu-se seama de probabilitățile de variație pe care le pot avea asemenea acțiuni; în unele situații este necesar ca proiectantul să analizeze dacă valorile coeficienților acțiunilor prevăzute în standarde corespund condițiilor de siguranță cerute de construcția care se proiectează.

b. Ferma, riglă a cadrului transversal

Solicitările la care este supusă ferma în această situație, fiind și riglă a cadrului transversal, depind de legăturile dintre fermă și stîlpi.

Ferma legată articulat de stîlpi este supusă în principal la acțiunile care se aplică direct pe fermă; ca riglă a cadrului transversal primește în plus o solicitare care este dată de efortul axial rezultat în rigla cadrului din calculul static al cadrului.

Alte solicitări pot interveni și ca urmare a poziției articulațiilor de la reazemele fermei față de axa riglei cadrului. Cînd articulația este situată față de axa riglei cu o excentricitate, e apare la capătul fermei un moment $H \cdot e$ și deci ferma va fi supusă în afara forței axiale H și la un moment $H \cdot e$ aplicat la cele două capete (fig. XI.1).

Fermele continue pe mai multe deschideri, legate articulat pe capetele stîlpilor, sînt supuse acțiunilor aplicate direct, care revin de la acoperiș; ca rigle ale cadrului mai primesc și solicitările axiale care apar în rigla cadrului și, cînd este cazul, efectele așezării excentrice a articulațiilor de pe reazeme. Determinarea eforturilor în barele fermelor se poate face exact, considerînd grinda continuă cu zăbrele; în unele cazuri, se pot asimila fermele cu o bară cu secțiune plină cu moment de inerție constant, a cărui valoare pentru o deschidere se poate lua egală cu

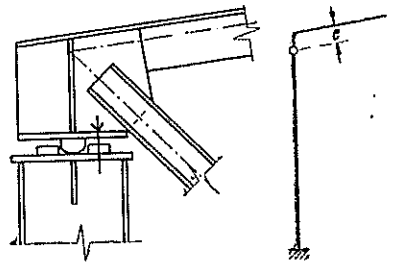


Fig. XI.1. Articulație cu forțe orizontale excentrice.

$$I = k(A_s h_s^2 + A_i h_i^2) \qquad \text{(XI.1)}$$

în care k este coeficient care ține seama de influența zăbrelelor asupra rigidității barei și de variația secțiunii tălpilor în lungul lor. Valoarea coeficientului k se poate lua $k=0{,}9$ pentru ferme cu tălpi paralele, $k=0{,}7$ pentru ferme cu talpa superioară avînd o înclinare egală cu 1/10 și $k=0{,}8$ pentru înclinări intermediare. Echivalența momentului de inerție se face la mijlocul deschiderii fermei (fig. XI.2). Un astfel de calcul poate fi folosit în orice caz la o predimensionare.

În cazul unor ferme grele cu bare cu secțiuni dezvoltate este necesar, în unele cazuri, să se țină seama și de efectele rigidității nodurilor.

Fermele legate rigid de stîlpi primesc, pe lîngă eforturile rezultate din acțiunile directe pe ferme, și solicitări importante din cadrul cu legături rigide între ferme și stîlpi. Ca urmare, o fermă dintr-o deschidere este solicitată pe reazem și de două momente ale căror valori sînt determinate din sistemul de cadru considerat (fig. XI.3). Legătura rigidă dintre ferme și stîlpi este însă discutabilă. În practică legătura dintre ferme și stîlpi se definitivează în multe cazuri într-o fază oarecare a montajului, astfel că o parte din încărcări sînt suportate de ferme în situația de simplă rezemare; la prinderile fermelor de stîlpi cu șuruburi brute este posibil ca în timpul exploatării șuruburile să slăbească și să permită unele rotiri care duc la micșorarea momen-

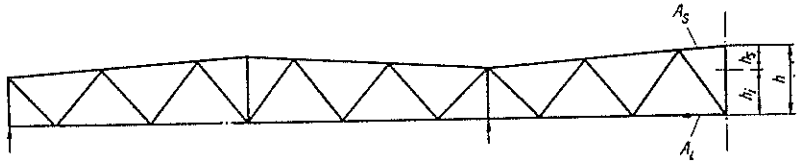


Fig. XI.2. Elemente pentru calculul momentelor de inerție echivalente.

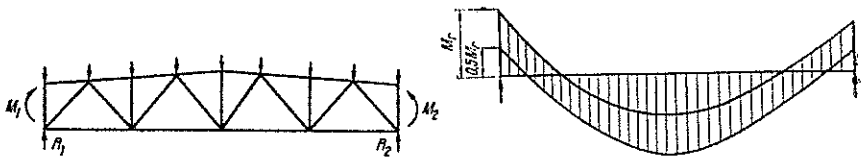


Fig. XI.3. Momente la capetele fermelor.

telor de la nod și la modificarea distribuției momentelor pe fermă. Se poate ține seama de această situație în modul următor: dacă din calculul static momentul la capătul fermei este M_{rmax}, respectiv M_{rmin}, pentru dimensionarea prinderii la nod și a barelor din zona reazemului se va considera momentul M_{rmax}; pentru calculul eforturilor în barele fermei pe deschidere se va admite o slăbire a prinderii la nod și se va considera pe reazeme numai o parte din momentul M_{rmax}, de exemplu 0,5 M_{rmax}, rezultînd pentru fermă o diagramă de momente acoperitoare.

Dacă pe reazeme, într-o situație de încărcare, rezultă momente de sens contrar se va analiza și acest caz.

c. Calculul barelor fermelor

Calculul barelor fermelor se face conform celor expuse în lucrarea [31]. În cele ce urmează se scot în evidență unele aspecte, care trebuie să fie analizate la proiectare cu o atenție deosebită.

În diferite cazuri de solicitări se pune problema alegerii formei secțiunii bare i astfel încît aceasta să se comporte într-un mod avantajos.

Barele comprimate axial pot flamba prin încovoiere, prin încovoiere răsucire sau prin răsucire, în funcție de forma secțiunii și de legăturile barei la capete și pe parcurs. Pe de altă parte, forma secțiunii barei și modul cum este alcătuită au o influență asupra forței critice de flambaj, unele secțiuni comportîndu-se mai dezavantajos decît altele; formele tubulare au cea mai bună comportare, iar secțiunile deschise în T, U, corniere au o comportare defavorabilă. Această situație, pe baza a numeroase studii teoretice și cercetări experimentale, a condus la stabilirea mai multor curbe pentru forțele critice de flambaj în funcție de zvelteța barei, și deci pentru coeficienții de flambaj φ.

În diferite prescripții s-au reținut trei curbe în funcție de forma secțiunii barei, de dimensiunile secțiunii și de unele influențe datorite sudării.

O relație care dă valorile eforturilor unitare critice de flambaj σ_f în cazul flambajului prin încovoiere este

$$(1+b-a)\sigma_f^2-[\sigma_E+(1+b)\sigma_c]\sigma_f+\sigma_c\sigma_E=0 \qquad \text{(XI.2)}$$

din care, ținînd seama că $\sigma_f=\varphi\sigma_c$, se obține o ecuație în φ.

La stabilirea acestei relații s-a admis că bara este solicitată în domeniul elastic și că se atinge capacitatea limită a barei cînd în fibra de margine cea mai solicitată se atinge limita de curgere σ_c a oțelului din care este confecționată bara. Coeficienții a și b țin seama de imperfecțiunile barei reale; prin coeficientul a se iau în considerare imperfecțiunile probabile, ca excentricități la aplicarea forțelor, curbură, iar prin coeficientul b se ține seama de imperfecțiunile de structură, care au ca efect micșorarea modulului de elasticitate E.

Valorile acestor coeficienți, determinate prin prelucrarea statistică a numeroase încercări făcute pe bare în mărime naturală, variază într-o măsură oarecare; valorile coeficienților variază pentru secțiunile unor bare și se pot lua $a=0{,}22$ și $b=0{,}18$; pentru diferite alte secțiuni valorile sînt ceva mai mari sau mai mici.

În relația (XI.2) se consideră că o bară reală, solicitată de o forță axială N, își pierde stabilitatea prin flambaj cu încovoiere, cînd efortul unitar $\sigma'=N/A$, plus efortul unitar $\sigma''=M/W$, produs din încovoierea barei în momentul flambajului, atinge limita de curgere

$$\sigma=\sigma'+\sigma''=\sigma_c. \qquad \text{(XI.3)}$$

Momentul încovoietor M are valoarea $M=Nf$, în care f este săgeata la mijlocul lungimii de flambaj a deformației barei produsă de flambaj.

Săgeata deformatei barei reale, calculată cu relația

$$f=a\sigma\frac{I}{uA}\cdot\frac{1}{\sigma_E-(1+b)\sigma} \qquad \text{(XI.4)}$$

este suficient de acoperitoare și probabilitatea de a fi depășită atunci cînd valorile efortului unitar σ ajung la limita de curgere este foarte redusă, dacă se ia $a=b$, a avînd valori în funcție de forma secțiunii.

În relația (XI.4) notațiile reprezintă:

I — momentul de inerție minim al barei (în raport cu axa față de care se produce flambajul);

u — distanța de la fibra cea mai depărtată la axa neutră a secțiunii;

$\sigma_E=\frac{\pi^2E}{\lambda^2}$, λ fiind zvelteța barei în raport cu axa față de care se produce flambajul;

A — aria secțiunii barei.

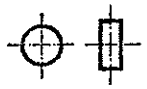
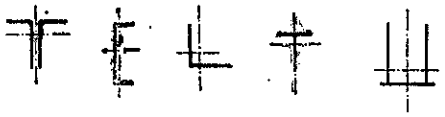
În aceste condiții, dacă se notează $1+b=n$ și se ia $a=b$, relația (XI.2) devine

$$\sigma_f^2=(\sigma_E+n\sigma_c)\sigma_f+\sigma_c\sigma_E=0 \qquad \text{(XI.5)}$$

de unde se deduce valoarea coeficientului φ

$$\varphi=0{,}5\left(n+\frac{\sigma_E}{\sigma_c}\right)-\sqrt{\left[0{,}5\left(n+\frac{\sigma_E}{\sigma_c}\right)\right]-\frac{\sigma_E}{\sigma_c}}. \qquad \text{(XI.6)}$$

Tabelul XI.1

Forma secțiunii	Valoarea coeficientului n	Simbolul curbei $\varphi - \lambda$
Tuburi laminate la cald 	1,20	*A*
Laminate dublu T	1,30	*B*
Profile sudate		
Secțiuni închise sudate		
Secțiuni în Π, solidarizate la partea deschisă cu plăcuțe sau zăbrelușe		
Profile deschise cu o axă de simetrie 	1,50	*C*

Cu această relație se pot obține valorile coeficienților φ pentru diferite valori ale coeficientului n; valorile coeficientului n pentru bare cu diferite secțiuni pot fi luate ca în tabelul XI.1.

Valorile coeficientului n din tabelul XI.1 sînt stabilite considerînd $a=b$; cînd se iau pentru a și b valori diferite între ele, determinarea curbelor A, B și C se face plecînd de la relația (XI.2).

În fig. XI.4 sînt reprezentate curbele A, B și C pentru OL37 stabilite cu relația (XI.6) și cu valorile n din tabelul XI.1. Diferențele între curbele din fig. XI.4 și altele determinate cu relații care rezultă din diferite date experimentale sînt mici și admisibile. Valori mai apropiate de aceste curbe se obțin variind coeficienții a și b în mod corespunzător. Valorile coeficienților φ variază și cu marca oțelului, fiind funcție și de limita de curgere a oțelului.

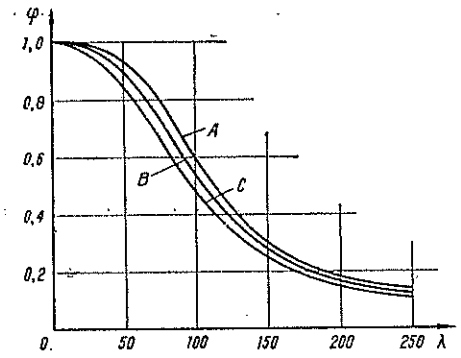


Fig. XI.4. Curbele $\varphi-\lambda$.

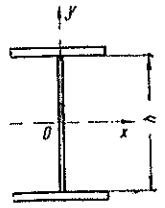


Fig. XI.5. Secțiune cu două axe de simetrie.

Ținîndu-se seama de cele expuse, rezultă că este necesar ca la proiectare să se țină seama la alegerea secțiunii barelor comprimate axial și de modul cum se comportă bara cu o secțiune de o formă sau alta.

Unele bare supuse la compresiune axială au tendința de a flamba prin încovoiere-răsucire.

Pentru o bară cu o secțiune în dublu T cu două axe de simetrie (fig. XI.5) conform relațiilor (XII.65) pag. 264 din lucrarea [31] rezultă forțele critice de flambaj

$$P_x=\frac{\pi^2EI_x}{l^2};\quad P_y=\frac{\pi^2EI_y}{l^2}\quad\text{și}\quad P_\omega=\left(\frac{\pi^2EI_\omega}{l^2}+GI_r\right)\frac{1}{i_p^2}. \tag{XI.7}$$

Primele două relații corespund flambajului prin încovoiere; a treia relație dă valoarea forței critice de flambaj prin încovoiere-răsucire, care poate fi mai mică decît valorile date de primele două relații.

A treia relație se poate scrie sub forma

$$\sigma_\omega=\left[\frac{\pi^2EI_\omega}{l^2}+GI_r\right]\frac{1}{Ai_p^2}. \tag{XI.8}$$

Dacă se ține seama că $E/G=2{,}6$ și $I_\omega=I_y\frac{h^2}{4}$ se obține

$$\sigma_\omega=\left[\pi^2I_y\left(\frac{h}{2l}\right)^2+\frac{I_r}{2{,}6}\right]\frac{E}{Ai_p^2}. \tag{XI.9}$$

În practica de proiectare este avantajos să se determine zvelțea barei λ_{ir} care corespunde rezistenței critice de flambaj.

Cunoscînd zvelterea λ_{ir} se poate determina coeficientul de flambaj φ_{ir} și deci relația de verificare este

$$\frac{N}{A\varphi_{ir}} \leqslant R \qquad \text{(XI.10)}$$

în care:

N este valoarea de calcul a forței axiale;
φ_{ir} — coeficientul de flambaj pentru λ_{ir} și care se ia din aceleași tabele ca și coeficientul φ;
A — aria secțiunii barei;
R — rezistența de calcul.

Pentru bare cu alte secțiuni, după cum se va arăta mai departe, se poate proceda în mod asemănător.

În anumite situații unele bare ale fermelor pot fi supuse la compresiune cu încovoiere, care poate proveni din încărcări directe pe bare, din excentricități rezultate din modul de centrarea barelor la noduri sau din rigiditatea nodurilor.

Barele supuse la compresiune și încovoiere trebuie să satisfacă în orice secțiune în lungul lor condiția de rezistență

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_x} \leqslant R. \qquad \text{(XI.11)}$$

La legătura dintre inimă și talpă este necesar să fie satisfăcută și condiția

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant R. \qquad \text{(XI.12)}$$

Verificarea la stabilitate se face cu relația

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x}{\varphi_y \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_e}\right) W_x} \leqslant R \qquad \text{(XI.13)}$$

în care:

N este valoarea de calcul a forței axiale;
φ_1 — coeficient ce ține seama de fenomenul de flambaj al barei, corespunzător planului în care se produce flambajul;
A — aria secțiunii barei;
M_x — momentul încovoietor maxim pe bară;
c_x — coeficient care ține seamă de distribuția momentului M_x pe bară;
φ_y — coeficientul de flambaj al tălpii comprimate determinat cu zvelțea $\lambda_1 = l_1/i_y$; l_1 este distanța între două legături transversale ale barei și i_y este raza de inerție a tălpii comprimate în raport cu axa $y-y$; cînd încovoierea se produce în plan transversal inimii $\varphi_y = 1$;

σ — efortul unitar $\sigma = N/A$;

σ_E — rezistența critică de flambaj determinată cu relația $\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$, corespunzătoare planului în care se produce încovoierea;

R — rezistența de calcul.

Factorul $1/\left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_E}\right)$, care multiplică termenul al doilea din membrul întîi al relației (XI.13), este rezultat din modul de comportare al unei bare comprimată axial, solicitată în același timp și de un moment încovoietor. Datorită creșterii săgeții deformate, ca urmare a flambajului (bară reală), se produce și o creștere a momentului, momentul final fiind $\frac{M}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_E}}$. Unele prescripții de calcul prevăd ca raportul σ/σ_E să se multiplice printr-un coeficient n, pentru a se ține seama și de oarecare imperfecțiuni, așa cum se procedează în cazul unei bare supuse la o forță axială. Un alt mod de a privi problema constă în a se admite că imperfecțiunile nu se manifestă cu același efect în cazul pierderii stabilității unei bare prin încovoiere; se admite de aceea să nu se introducă coeficientul n, care se ia în considerare la bara comprimată axial. Ca urmare, în calculele practice de verificare a barelor supuse la compresiune axială și încovoiere se consideră că factorul n, care ține de imperfecțiunile barei reale, este indicat să se ia în considerare numai la termenul din relația (XI.13) care se referă la efectul rezultat din forța axială N (primul termen), nu și la pierderea stabilității prin încovoiere, unde n se ia egal cu unu.

Coeficientul φ_1 ține seamă că efortul axial N din relația (XI.11) este mai mic decît cel care ar corespunde valorii la care s-ar produce flambajul dacă nu ar exista și solicitarea de încovoiere. Valoarea acestui coeficient rezultă din faptul că într-o bară reală supusă la o forță axială N efortul unitar în fibra cea mai solicitată la compresiune, situată la distanța u de axa neutră, este

$$\sigma_{max} = \sigma + Nf\frac{u}{I}. \qquad \text{(XI.14)}$$

Ținînd seama că $N = A\sigma$ și de relația (XI.4), în care se admite $a = b$ și $1 + b = n$, se poate scrie la limită

$$\sigma_{max} = \sigma_e = \sigma_f \frac{\sigma_E - \sigma_f}{\sigma_E - n\sigma_f}. \qquad \text{(XI.15)}$$

Dacă $\sigma_{max} \leqslant \sigma_e$ relația capătă forma

$$\gamma_m \sigma \frac{\sigma_E - \gamma_m \sigma}{\sigma_E - n\gamma_m \sigma} = \frac{\gamma_m \sigma}{\varphi_1} \qquad \text{(XI.16)}$$

de unde

$$\varphi_1 = \frac{\sigma_E - n\gamma_m\sigma}{\sigma_E - \gamma_m\sigma} = \frac{\mu - n}{\mu - 1}. \qquad (XI.17)$$

Aici $\mu = \sigma_E/\gamma_m\sigma$.

În aceste relații γ_m apare datorită faptului că în relațiile de calcul se folosește R în loc de σ_c ; rezistența R este $R = \sigma_c/\gamma_m$; γ_m este coeficientul de variație probabilă a rezistenței normate σ_c și are valoarea $\gamma_m = 1{,}15$ pentru OL37 și OL44 și $\gamma_m = 1{,}20$ pentru OL52.

Admițînd valori diferite pentru a și b, valorile coeficientului φ_1 se modifică. Coeficientul φ_1 are o valoare mai mare ca φ ; valoarea sa tinde către φ.

Momentul încovoietor poate avea valoarea maximă oriunde pe lungimea barei ; relația (XI.13) fiind o însumare de efecte, trebuie să ia în considerare efectul momentului din treimea mijlocie a lungimii de flambaj a barei, unde practic este maxim și efectul din fenomenul de flambaj. Ca urmare, cînd, M_x are o valoare maximă în această zonă $c_x = 1{,}0$. La o bară supusă la o forță axială și două momente la capete valoarea coeficientului c_x se ia $c_x = 0{,}6 + 0{,}4\frac{M_1}{M_2} \geqslant 0{,}4$, unde M_1 și M_2 se iau cu semnele lor (fig. XI.6). Sînt unele prescripții care prevăd valori ceva mai mari.

Coeficientul φ_y ține seama de pierderea stabilității generale a barei sub efectul încovoierii. În cazul cînd o bară are legături transversale, care reduc lungimea barei, nu se face verificarea la stabilitate generală dacă lungimea l_i cea mai mare este cel mult egală cu 40 i_y pentru OL37 și 35 i_y pentru oțelurile OL44 și OL52, deci în această situație $\varphi_y = 1{,}0$ (fig. XI.7).

Cînd distanța l_1 între legături este mai mare decît cea limită indicată mai înainte, verificarea se face cu φ_y, corespunzător zvelteței $\lambda_y = \frac{l_1}{i_y}$, raza de inerție a tălpii comprimate fiind $i_y = 0{,}29\ b$.

Nu este necesar să se verifice la stabilitate generală grinzile cu secțiune închisă, dacă $l_1/c \leqslant 70\frac{2{,}1}{\sigma_c}$ și $h/c \leqslant 10$, unde h este înălțimea inimilor și c distanța între inimile secțiunii.

Sînt alte situații însă cînd folosirea coeficientului φ_y nu este acoperitoare și trebuie să se recurgă la un calcul mai exact. Practic însă calculul se poate face în mod asemănător, înlocuindu-se în relația (XI.13) coeficientul φ_y cu φ_g, a cărui determinare se redă mai departe.

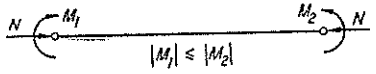


Fig. XI.6. Coeficientul c_x pentru o bară cu momente la capete.

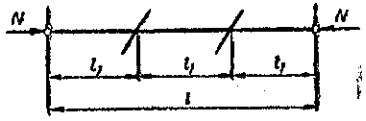


Fig. XI.7. Bară cu legături transversale.

Relația (XI.13) are o formă generală ; coeficientul φ_y respectiv φ_g, se ia egal cu 1,0 dacă nu este posibilă pierderea stabilității barei prin încovoiere în planul inimii ; un asemenea fenomen se poate produce la bare cu secțiunea în dublu T simetric, în U, în T, în dublu T nesimetric.

d. Determinarea coeficienților φ_{ir} și φ_g

Pentru determinarea coeficientului φ_{ir} este necesar să se cunoască λ_{ir} ; λ_{ir} rezultă din condiția

$$\sigma_\omega = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{ir}^2} \quad \text{sau} \quad \lambda_{ir} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_\omega}}. \qquad (XI.18)$$

Din relația (XI.9) se obține pentru profile cu două axe de simetrie

$$\sigma_\omega = \left(\frac{h}{2}\right)^2\left(1 + 0{,}156\left(\frac{l}{h}\right)^2 \frac{I_T}{I_y}\right)\frac{\pi^2 E}{l^2}\,\frac{i_y^2}{i_p^2}. \qquad (XI.19)$$

Introducînd această valoare în (XI.18) se obține

$$\lambda_{ir} = \gamma\,\frac{l}{i_y} \qquad (XI.20)$$

în care

$$\gamma = \frac{2i_p}{h\sqrt{1 + 0{,}156\left(\frac{l}{h}\right)^2 \frac{I_T}{I_y}}}. \qquad (XI.21)$$

În cazul barelor cu diverse legături la capete în relațiile (XI.20) și (XI.21) se înlocuiește l cu μl, valoarea lui μ fiind 1,0 pentru bare articulate la ambele capete, 0,5 pentru bare încastrate la ambele capete și 0,7 cînd la un capăt bara este articulată și la altul încastrată.

Flambajul prin încovoiere are loc dacă $\gamma > 1{,}0$.

În cazul unor profile cu o singură axă de simetrie (fig. XI.8), din ecuația generală (XII.63) din lucrarea [31], pentru o forță aplicată în centrul de greutate al secțiunii, ținînd seama de axele și notațiile din fig. XI.8, se obține

$$(P_x - P)(P_y - P)(P_\omega - P)i_0^2 - P^2(P_x - P)y_c^2 = 0 \qquad (XI.22)$$

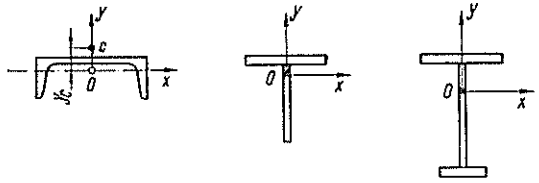


Fig. XI.8. Profile cu o axă de simetrie.

ecuație care are soluțiile

$$P_{xcr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_x^2} \quad \text{și} \quad (P_y - P)(P_\omega - P)r_0^2 - P^2 y_c^2 = 0 \qquad \text{(XI.23)}$$

în care $r_0^2 = i_p^2 + y_c^2$; în cele ce urmează r_0 este notat cu i_c.

Prin rezolvarea ecuației de gradul doi din relația (XI.23) se obțin două valori pentru forțele critice de flambaj prin încovoiere-răsucire.

Din aceste valori se poate deduce σ_{cr}.

Un alt mod de a proceda constă în a determina o zvelteță transformată λ_{ir}.

Notînd $c^2 = \frac{I_\omega}{I_y} + \frac{GI_r l^2}{EI_y \pi^2} = \frac{I_\omega + 0{,}039\, l^2 I_r}{I_y}$; $\sigma_{cr} = P_{cr}/A$ și $I_y/A = i_y^2$

se obține

$$\frac{\pi^2 E i_y^2}{\sigma_{cr} l^2} = \frac{c^2 + i_c^2}{2c^2}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{4\, i_p^2\, c^2}{(c^2 + i_c^2)^2}}\right]. \qquad \text{(XI.24)}$$

Introducînd valoarea rezistenței critice σ_{cr} în relația

$\lambda_{ir}^2 = \frac{\pi^2 E}{\sigma_{cr}}$ se obține

$$\lambda_{ir} = \frac{l}{i_y}\gamma \qquad \text{(XI.25)}$$

în care

$$\gamma = \sqrt{\frac{c^2 + i_c^2}{2c^2}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{4\, i_p^2\, c^2}{(c^2 + i_c^2)^2}}\right]}. \qquad \text{(XI.26)}$$

În aceste relații, dacă la capetele barei sînt alte legături decît articulații, se înlocuiește l cu μl.

Cu zvelteța λ_{ir} se poate găsi φ_{ir}, folosind tabele care dau valorile coeficienților φ în funcție de λ; coeficientul de zvelteță λ_{ir} ține seama și de forma secțiunii și deci nu mai este cazul să se utilizeze curbe de flambaj care țin seama de forma secțiunii.

Pentru determinarea coeficientului φ_g se ține seama de fenomenul de pierdere a stabilității grinzilor încovoiate; în tratatele de teoria stabilității elastice sînt stabilite valorile momentelor critice de pierdere a stabilității grinzilor încovoiate, din care se deduc valorile rezistențelor critice σ_g. Pentru grinzile cu două axe de simetrie (profile dublu T) din fig. XI.9, valoarea rezis-

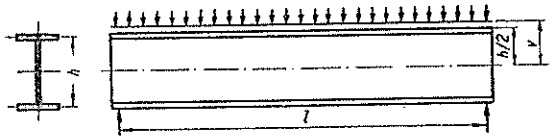


Fig. XI.9. Grindă cu secțiune dublu T supusă la încovoiere.

tenței critice, grinda avînd deschiderea l și capetele împiedicate contra răsturnării, este

$$\sigma_g = \xi \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu l)^2} \cdot \frac{h}{2I_x}\left[\sqrt{\left(\frac{5v\mu^2}{\pi^2}\right)^2 + \frac{GI_r(\mu l)^2}{\pi^2 EI_y} + \left(\frac{h}{2}\right)^2} - \frac{5v\mu^2}{\pi^2}\right] \qquad \text{(XI.27)}$$

în care:

ξ este coeficient care depinde de distribuția momentului pe grindă (fig. XI.10);

μ — coeficient egal cu 1,0 pentru bare dublu articulate, cu 0,5 pentru bare dublu încastrate și cu 0,7 cînd bara este articulată la un capăt și încastrată la altul;

v — distanța de la axa neutră la linia de aplicare a încărcării; cînd încărcarea se aplică pe linia axei neutre $v=0$, cînd se aplică la talpa superioară $v=+h/2$ și cînd se aplică la talpa inferioară $v=-h/2$.

Ținînd seama că $I_x = Ai_x^2$, $I_y/A = i_y^2$ și $i_x \approx 0{,}4\, h$ se obține

$$\sigma_g = \xi \frac{\pi^2 EI_y^2}{(\mu l)^2} \cdot \frac{1}{0{,}32}\left[\sqrt{\left(0{,}506\frac{v\mu^2}{h}\right)^2 + 0{,}039\,\mu^2\left(\frac{l}{h}\right)^2 \frac{I_r}{I_y} + 0{,}25} - 0{,}506\frac{v\mu^2}{h}\right]. \qquad \text{(XI.28)}$$

Cu această valoare se obține

$$\lambda_g = \gamma \frac{\mu l}{i_y} \qquad \text{(XI.29)}$$

în care

$$\gamma = \sqrt{\frac{0{,}32}{\xi\sqrt{\left(0{,}506\frac{v\mu^2}{h}\right)^2 + 0{,}039\,\mu^2\left(\frac{l}{h}\right)^2 \frac{I_r}{I_y} + 0{,}25} - 0{,}506\frac{v\mu^2}{h}}}. \qquad \text{(XI.30)}$$

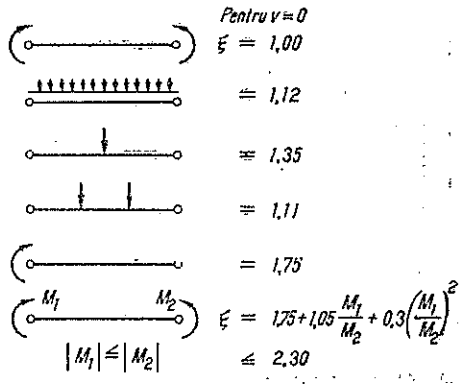


Fig. XI.10. Valorile coeficientului ξ.

În cazul secțiunilor cu o singură axă de simetrie rezistența critică σ_g este dată de relația

$$\sigma_g = \xi \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu l)^2} \cdot \frac{c}{I_x}\left[\sqrt{\left(\frac{5v\mu^2}{\pi^2}+\frac{r_x}{3}-y_c\right)^2+\frac{I_\omega}{I_y}+0{,}039\,\mu^2 l^2\frac{I_r}{I_y}}-\left(\frac{5v\mu^2}{\pi^2}+\frac{r_x}{3}-y_c\right)\right] \quad \text{(XI.31)}$$

în care c este distanța de la axa neutră la fibra cea mai comprimată și $r_x = \frac{1}{I_x}\int y(x^2+y^2)\,dA$; celelalte notații și elemente sînt date în tabelul XI.2.

e. Lungimile de flambaj ale barelor fermelor

Baza teoretică pentru stabilirea lungimilor de flambaj ale barelor fermelor o constituie cele patru cazuri caracteristice de flambaj al barelor supuse la forțe axiale (fig. XI.11). Între lungimea barei l și lungimea de flambaj l_f există în general o diferență, care poate fi însemnată și care provine din modul de legătură al barelor la capetele lor. Pentru calculul barelor, care ține seama de pierderea stabilității, interesează lungimea de flambaj a barei și care în general se exprimă în funcție de lungimea barei astfel

$$l_f = \mu l. \quad \text{(XI.32)}$$

Coeficientul μ ține seama de caracteristicile legăturilor de la capetele barei și are valori mai mari, mai mici sau egale cu unitatea.

În cazul fermelor, la stabilirea lungimilor de flambaj ale barelor se ține seama de cele arătate în funcție de alcătuirea fermei, de dezvoltarea secțiunilor barei și în special a nodurilor, de legăturile fermelor cu alte elemente ale șarpantei, cum sînt de exemplu contravîntuirile. Legăturile la capetele barelor pot fi diferite în planul fermei față de un plan perpendicular, ceea ce face necesar să se determine lungimile de flambaj în ambele situații.

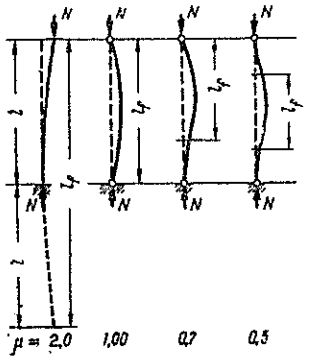
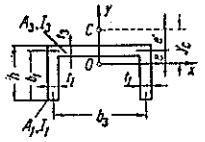
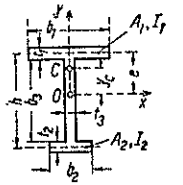
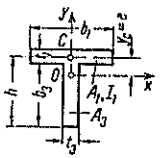
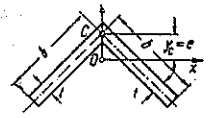


Fig. XI.11. Cazuri caracteristice de flambaj.

La o fermă simplu rezemată pe deschidere lungimile de flambaj se stabilesc după cum se arată mai departe.

La talpa superioară, în planul fermei, lungimea de flambaj se ia egală cu lungimea teoretică dintre două noduri consecutive, admițîndu-se că acestea constituie puncte de inflexiune pentru deformata tălpii comprimate; în cazul unor ferme cu noduri dezvoltate, a căror rotire ar fi parțial împiedicată și de zăbrelele care se prind la nod, lungimea de flambaj se reduce într-o măsură oarecare ceea ce la

Tabelul XI.2

Secțiunea	y_c	r_x	I_ω
 $I_1 = ht_1\left(\frac{b_3}{2}\right)^2$; $I_3 = t_3\frac{b_3^3}{12}$; $I_y = 2I_1 + I_3$; $A_3 = t_3(b_3 - t_1)$	$c + c' = e + \frac{h^2 b_3^2 t_1}{4I_y}$	$\frac{1}{I_x}\left[e(A_3e^2 + I_3) + (2e - h)I_1 + \frac{t_1}{2}e^2 - \frac{t_1}{2}(h-e)^2\right]$	$\frac{h}{3}\frac{I_1^2 + 2I_1I_3}{I_y}$
 $I_1 = \frac{t_1b_1^3}{12}$; $I_2 = \frac{t_2b_2^3}{12}$; $I_y = I_1 + I_2$; $A_1 = b_1t_1$; $A_2 = b_2t_2$	$\frac{1}{I_y}[eI_1 - (h-e)I_2]$	$\frac{1}{I_x}\left[y_cI_y + A_1e^3 - A_2(h-e)^3 + \frac{t_3}{4}e^4 - \frac{t_3}{4}(h-e)^4\right]$	$\frac{I_1I_2}{I_1 + I_2}h^2$
 $A = A_1 + A_3 = b_1t_1 + b_3t_3$	$\frac{b_3t_3}{2A}(b_3 + t_1)$	$\frac{1}{I_x}\left[y_cI_y + A_1e^3 + \frac{t_3}{4}e^4 - \frac{t_3}{4}(h-e)e^4\right]$	$\frac{(b_1t_1)^3}{144} + \frac{(ht_3)^3}{36}$
	$\frac{b}{4}\sqrt{2}$	$-\frac{b}{2}\sqrt{2}$	$\frac{(bt)^3}{18}$

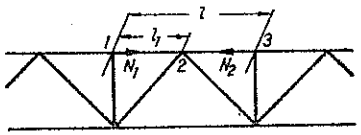


Fig. XI.12. Bară cu solicitări la eforturi diferite.

proiectare poate fi luat în considerare dacă se determină prin calcul gradul de limitare al rotirii nodului.

În plan transversal fermei, lungimea de flambaj a barei se ia egală cu distanța între două noduri consecutive, dacă acestea sînt fixate contra deplasării în sens transversal fermelor ; în cazul legăturilor prin pane, acestea asigură o fixare a nodurilor fermelor, dacă sînt prinse de contravîntuiri suficient de rigide. În cazul cînd există noduri nefixate lateral, lungimea de flambaj se ia egală cu distanța între două noduri legate care nu se pot deplasa lateral.

Într-un asemenea caz este posibil ca efortul în lungul barei între cele două noduri fixate să nu fie același pe întreaga lungime. În cazul din fig. XI.12 bara *1—3*, fixată lateral în nodurile *1* și *3*, este solicitată pe lungimea *1—2* de efortul axial N_1 și pe lungimea *2—3* de efortul axial N_2, efortul N_2 fiind mai mare ca N_1.

Forța critică de flambaj poate fi determinată teoretic în mod direct ; se arată în teoria elasticității că forța critică de flambaj poate fi determinată considerînd că forța critică de flambaj este constantă pe tot lungul barei, dacă se ia pentru bară o lungime convențională, stabilită pe anumite criterii. Prescripțiile admit pentru tălpile fermelor o lungime de flambaj

$$l_f = l\left(0{,}75 + 0{,}25\,\frac{N_1}{N_2}\right). \qquad \text{(XI.33)}$$

În relația (XI.33) eforturile N_1 și N_2 se introduc cu semnele lor.

La zăbrele lungimea de flambaj în planul fermei se ia, în general, egală cu distanța dintre centrele de greutate ale prinderilor la noduri ; prescripțiile admit ca această lungime să se ia 0,8 din distanța l între nodurile teoretice ale fermei, la care se prind zăbrelele. Și în acest caz, cînd nodurile sînt dezvoltate, și în special dacă zăbrelele au o rigiditate mică, lungimea de flambaj poate fi acceptată mai mică decît 0,8 l.

În plan transversal lungimea de flambaj se acceptă egală cu l.

În cazul montanților și diagonalelor de reazem, lungimile de flambaj în planul fermei și în plan transversal se iau egale cu l.

La fermele continue pe mai multe deschideri, pe reazeme apar eforturi de compresiune în talpa de jos, într-un panou sau două vecine reazemului ; în acest caz, nodul de la talpa superioară de lîngă reazem sau al doilea, după caz, se fixează de obicei printr-o bară care leagă nodurile de la toate fermele de contravîntuirile transversale halei. Cînd contravîntuirile transversale halei sînt numai la tălpile superioare ale fermelor, se prevede o legătură între

bară și contravîntuirea orizontală transversală (fig. XI.13).

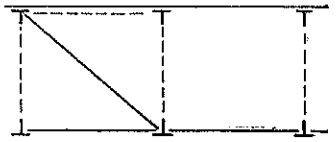


Fig. XI.13. Legarea barei de la talpa inferioară de contravîntuirea transversală.

Elementele întinse ale fermelor și ale altor grinzi cu zăbrele trebuie să prezinte o anumită rigiditate transversală, după importanța acestora în construcția cu zăbrele și după natura solicitărilor.

Zăbrelele și tălpile întinse ale grinzilor cu zăbrele supuse la acțiuni statice vor avea coeficienții de zvelteță $\lambda \leqslant 400$; pentru talpa întinsă, λ se determină pentru planul transversal planului grinzii și cu distanța l dintre două puncte de fixare transversală a tălpii întinse.

În cazul cînd fermele sînt acționate direct de încărcări dinamice, valoarea coeficientului de zvelteță se reduce la $\lambda \leqslant 250$ pentru diagonalele de reazem și tălpile întinse ale grinzilor cu zăbrele și la $\lambda \leqslant 350$ pentru alte zăbrele.

2. Grinzi cu zăbrele longitudinale halelor

a. Acțiunile la care sînt supuse grinzile cu zăbrele longitudinale

Grinzile cu zăbrele longitudinale halelor sînt așezate pe șirurile longitudinale de stîlpi, pe toată lungimea halei sau numai pe unele zone, unde sînt suprimați stîlpii. Grinzile longitudinale pot fi legate de stîlpi articulat sau pot avea legături rigide de continuitate.

Încărcarea principală a acestor grinzi este dată de fermele intermediare ale acoperișului pe care le susține ; ca urmare, acțiunile care le solicită sînt cele arătate la ferme. În același timp, datorită așezării lor în structură pot fi supuse și altor acțiuni. În unele cazuri grinzile longitudinale susțin căi de poduri rulante, în general avînd o capacitate de ridicare mică, pasarele de circulație sau pentru conducte. Unele elemente ale grinzilor longitudinale transmit de la capetele halelor la contravîntuirile verticale de pe șirurile de stîlpi acțiunile vîntului pe frontoane, forțe date de acțiunile seismice în lungul halei și altele.

Cînd grinzile cu zăbrele longitudinale sînt prevăzute pe toate șirurile de stîlpi și pe toată lungimea halei, alcătuiesc cu stîlpii halei structuri longitudinale. În funcție de legăturile dintre grinzi și stîlpi, grinzile longitudinale pot primi și alte solicitări, ca orice rigla a unei structuri în formă de cadru. Și în acest caz, ca și la ferme, după modul cum este realizată legătura între grinzi și stîlpi, este necesar să se țină seama de modul cum se asigură această legătură în diferite faze ale montajului.

b. Calculul barelor, lungimi de flambaj

La calculul barelor grinzilor cu zăbrele longitudinale se aplică aceleași reguli ca și la ferme.

Lungimile de flambaj ale barelor ce alcătuiesc grinzile se determină ca și la ferme. Stabilitatea grinzilor longitudinale trebuie să fie asigurată prin contravîntuirile orizontale longitudinale halei, așezate la talpa superioară a grinzilor longitudinale (v. fig. X.3 și X.4).

În cazurile cînd nu sînt contravîntuiri orizontale longitudinale halei alăturate unui șir de stîlpi, nodurile tălpii superioare ale grinzii longitudinale de pe acest șir de stîlpi sînt legate prin ferme, care la rîndul lor sînt legate de contravîntuirile orizontale din alte deschideri ale halei. Fermele fiind așezate la distanțe mari, de cel puțin 6 m, unele noduri ale tălpii superioare a grinzii longitudinale rămîn nelegate transversal (v. fig. VIII.25). Într-o asemenea situație este necesar ca talpa superioară a grinzii longitudinale să fie alcătuită și dezvoltată astfel încît să aibă asigurată stabilitatea pe distanța dintre două ferme. Este cazul să fie analizat dacă este rațional să se dezvolte talpa superioară sau să se prevadă contravîntuiri orizontale longitudinale, care aici au ca elemente noi numai zăbrelele.

3. Stîlpii halelor industriale

a. Acțiunile la care sînt supuși stîlpii halelor

Pentru a analiza acțiunile care produc solicitări în stîlpii halelor, aceștia trebuie să fie considerați ținînd seama de rolul lor ; stîlpii sînt elemente ale cadrelor structurilor transversale și în același timp sînt și elemente ale structurilor longitudinale.

În aceste situații stîlpii primesc :

— încărcări de la acoperișul halelor, verticale și orizontale, date de greutatea șarpantei acoperișului și de acțiunile directe aplicate șarpantei, inclusiv zăpada ;

— încărcări verticale de la podurile rulante ale căror căi de rulare sînt susținute de stîlpi, forțele de frînare transversale și longitudinale halei, rezultate din funcționarea podurilor rulante ;

— presiunea vîntului asupra pereților longitudinali și frontali ai halei și asupra luminătoarelor situate pe acoperiș ;

— acțiunile variațiilor de temperatură în sens transversal și longitudinal halei ;

— acțiunile provenite din mișcările seismice, cînd este cazul.

Aceste acțiuni se transmit stîlpilor în mod variat, după alcătuirea structurii construcției în general și după modul de rezolvare al structurii transversale de rezistență. Ca elemente ale structurilor de rezistență transversale, stîlpii sînt supuși la o serie de forțe și momente care rezultă din modul de

legătură între stîlpi și riglele cadrului și între stîlpi și fundații. În fig. XI.14 este prezentată în principiu schema de solicitare în sens transversal halei a unor stîlpi, considerați încastrați la bază și cu legături rigide între stîlpi și ferme. Stîlpii de margine mai pot primi încărcări orizontale la diferite înălțimi de la șarpanta pereților, provenite din vînt pe pereți, și verticale din greutatea pereților, care depind de modul de alcătuire a șarpantei pereților.

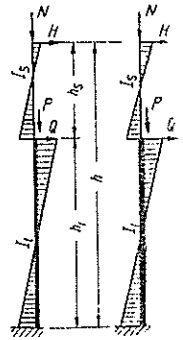


Fig. XI.14. Scheme de principiu ale solicitărilor stîlpilor.

b. Aspect general privind calculul stîlpilor halelor

În general, stîlpii halelor sînt solicitați de un efort axial N, de un moment încovoietor în planul cadrului transversal M_x, un moment încovoietor în planul longitudinal halei M_y și a unor forțe tăietoare Q_x și Q_y situate în cele două planuri. Forța axială poate fi constantă pe toată înălțimea stîlpului sau, foarte deseori, este variabilă, în diferite puncte pe înălțimea stîlpului, adăugîndu-se alte forțe verticale. Momentele M_x și M_y au în general valori care variază pe înălțimea stîlpului ; de asemenea și forțele tăietoare.

Stîlpii halelor industriale sînt de obicei încastrați în planul transversal halei și articulați în planul longitudinal. Momentul M_y și forța tăietoare Q_y sînt în general mici în raport cu M_x și Q_x, deoarece cele mai importante acțiuni longitudinale sînt suportate de contravîntuirile verticale de pe șirurile longitudinale de stîlpi.

Eforturile N, M_x și Q_x se obțin din calculele statice efectuate pentru determinarea eforturilor în structura cadrului transversal, produse de acțiunile care pot interveni în timpul exploatării construcției.

Calculele statice pentru determinarea eforturilor în barele unei structuri se fac în mod organizat în scopul de a se obține rezultate într-o cît mai bună concordanță cu comportarea reală a structurii. În acest scop, pe lîngă condițiile de bază referitoare la comportarea și deformarea materialelor, în acest caz ale metalelor, în domeniul elastic, acceptat în general pentru calculul eforturilor la construcțiile metalice, se admit o serie de schematizări, care au ca scop simplificarea calculelor, în cadrul unor aproximații care conduc la unele diferențe în limite acceptate.

Înainte de a se trece la întocmirea unor *scheme de calcul* este necesar să se întocmească *schema constructivă a structurii* ce trebuie calculată, în care sînt reprezentate forma, dimensiunile și legăturile structurii.

Schemele de calcul constau în :

— *scheme de încărcări*, pe categorii, permanente, variabile fixe sau mobile, diferențiindu-se pe diferite considerații care permit o sistematizare a calculelor. În aceste schematizări, de regulă se introduc unele aproximări

în ceea ce privește mărimea, distribuția, variația etc., îngăduite de prescripțiile referitoare la calculul construcțiilor; sînt însă situații cînd la proiectare trebuie să se analizeze unele încărcări ținîndu-se seama de considerații tehnologice, de experiență, de consecințele ce ar rezulta în urma unor evaluări cu abateri mari;

— *schema de calcul static* a structurii cu legăturile între elementele structurii și între structură și fundații sau alte părți de construcție; într-o schemă de calcul barele structurii sînt reprezentate prin axele lor, iar legăturile prin noduri care pot fi de diferite categorii: articulații sau legături rigide; legăturile cu fundațiile structurilor de rezistență pot fi articulate sau încastrate, mai rar sub formă de reazeme simple.

Pot exista legături cu rigidități parțiale, permițînd unele rotiri; astfel, legătura între stîlpi și fundație poate avea caracterul unei încastrări, dar dacă fundația are unele rotiri, încastrarea nu mai este perfectă.

Este necesar ca între schema constructivă și schema statică de calcul a structurii să existe o bună concordanță, adică ceea ce s-a admis din punct de vedere constructiv trebuie să fie prevăzut și în schema de calcul.

Desfășurarea calculelor statice pentru o structură oarecare cere, în general, un volum mare de calcule numerice. În practică se întîlnesc multe cazuri cînd schemele de calcul fiind simple, operațiile de calcul se pot efectua manual sau cu ajutorul unor mașini de calcul mecanic. În unele situații, la proiectare se aduc simplificări schemei statice de calcul, introducîndu-se de exemplu unele articulații în locuri unde acestea nu aduc schimbări esențiale în distribuția momentelor pe structură, cum ar fi de exemplu în puncte unde valorile momentelor sînt foarte mici; în alte cazuri se introduc articulații în diferite locuri pentru a determina o anumită distribuție a momentelor pe structură sau pentru a împiedica să se transmită unor elemente ale structurii solicitări mult prea dezavantajoase. Astfel, la o structură cu lățime mare, expusă unor variații de temperatură, este rațional ca stîlpii extremi să fie legați la partea superioară de riglele cadrului prin articulații (fig. XI.15). Se impune de aceea ca proiectantul, care urmărește adoptarea unei soluții constructive cît mai rațională, să analizeze schema de calcul și să utilizeze aceste posibilități ținînd seama de particularitățile cazului pe care îl studiază; prin aceasta se obțin în același timp și unele simplificări ale calculului. Se impune ca aceste corecții acceptate în schema de calcul să fie introduse și în schema constructivă. Este însă necesar să se țină seama că unele simplificări și introducerea unor legături care modifică sistemul static al structurii pot duce la soluții neeconomice.

Fig. XI.15. Articulații la stîlpii extremi ai unei structuri.

În condițiile de astăzi, cînd se dispune de mașini electronice de calcul, cu ajutorul cărora volumul calculelor

numerice se reduce foarte mult, nu este indicat să se recurgă la orice simplificări, în special numai în vederea reducerii volumului de calcule.

Datorită faptului că unele încărcări pot lipsi și apărea la anumite intervale, că își pot schimba poziția și sensul de acțiune pe structură sau, în aceste condiții pot avea valori diferite, pentru calculul eforturilor în elementele structurii este necesar să se facă mai multe ipoteze de încărcare a structurii spre a se obține în diferite bare și secțiuni solicitările cele mai defavorabile. Deoarece se consideră că structura se comportă în domeniul elastic, este recomandabil să se efectueze calculele pe categorii de încărcări și diferite poziții, în final însumîndu-se rezultatele în mod corespunzător.

Calculele statice pun la dispoziția proiectantului elementele necesare pentru calculele de rezistență și stabilitate ale barelor, pentru verificarea nodurilor și legăturilor.

La halele la care se ia în considerare la proiectare conlucrarea spațială, solicitările finale, care servesc la proiectare, cuprind și pe cele rezultate din conlucrare.

c. Calcule de verificare a stîlpilor

Stîlpii metalici ai unei hale metalice industriale pot fi cu secțiune plină sau din elemente depărtate, solidarizate între ele; secțiunea transversală a stîlpului poate fi constantă pe toată înălțimea sau poate fi diferită, variind în general în trepte, modificîndu-se pe unele porțiuni din înălțimea stîlpului.

Stîlpii cu secțiune constantă pe totată înălțimea se verifică ca o bară supusă la compresiune axială N și la încovoierea dată de momentul M_x. La o astfel de bară trebuie să fie satisfăcută în primul rînd în toate secțiunile condiția de rezistență

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{I_x} y \leqslant R \qquad \text{(XI.34)}$$

în care: y este distanța de la axa neutră a secțiunii la fibra cea mai solicitată;

A și M_x sînt aria secțiunii și valoarea momentului în punctul de pe lungimea stîlpului în care se face verificarea.

Este necesar să fie satisfăcută și condiția de limitare a deformațiilor plastice la legătura dintre inimă și tălpi

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant R \qquad \text{(XI.35)}$$

unde σ și τ sînt determinate în punctul de la legătura inimii cu tălpile pentru M_x maxim și forța tăietoare corespunzătoare în secțiunea respectivă, cum și pentru forța tăietoare maximă și momentul M_x corespunzător.

Forța tăietoare T este

$$T = T_f + T_e + T_m \qquad \text{(XI.36)}$$

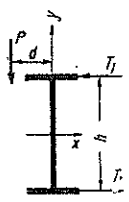


Fig. XI.16. Forță aplicată excentric.

în care :

T_f este forța rezultată din flambajul stîlpului datorit forței axiale, a cărei valoare se poate lua $T_f=0{,}012\frac{N}{\varphi_1}$;

T_e — forța tăietoare produsă de acțiunile aplicate pe stîlp ;

T_m — forța tăietoare datorită creșterii momentului M_x, care se poate lua $T_m=\frac{\pi}{l}\ (c-l)M_x\cos\frac{\pi x}{l}$, unde x este distanța de la extremitatea lungimii de flambaj la punctul considerat.

Dacă unele forțe transversale stîlpului sînt aplicate excentric, în afară de forța tăietoare dată de P în planul $y-y$, apar și forțele T_1, care acționează asupra stîlpilor (fig. XI.16), a căror valoare este

$$T_1=Pd/h. \tag{XI.37}$$

Stîlpul va trebui să satisfacă și condiția de stabilitate. La verificarea stabilității stîlpului intervin o serie de elemente, între care sînt lungimile de flambaj în planul inimii secțiunii stîlpului și în plan transversal, a căror analiză este făcută mai departe la pct. d.

Relația de verificare la stabilitate este

$$\frac{N}{\varphi_{1A}}+\frac{c_xM_x}{\varphi_g\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_E}\right)W_x}\leqslant R. \tag{XI.38}$$

În această relație notațiile au semnificațiile arătate la pct. c și d din acest paragraf. Este de menționat că φ_1 se referă la flambajul barei, care în cazul stîlpilor se manifestă, în general, prin încovoiere ; flambajul prin încovoiere-răsucire este recomandabil să fie evitat prin legături sau prin forma și dezvoltarea secțiunii stîlpului ; dacă nu poate fi evitat, φ_1 se determină cu relația (XI.17) introducîndu-se σ_E determinat cu λ_{ir} [relația (XI.25)].

Dacă $\frac{N}{\varphi_{1A}}\leqslant 0{,}15\ R$ verificarea stabilității stîlpului se face cu relația :

$$\frac{N}{\varphi_1 A}+\frac{M_x}{\varphi_g W_x}. \tag{XI.39}$$

Pot exista situații cînd stîlpul este solicitat și de un moment M_y în planul transversal secțiunii. Relațiile de verificare devin

$$\frac{N}{A}+\frac{M_xy}{Ix}+\frac{M_yx}{Iy}\leqslant 1{,}10\ R \text{ și} \tag{XI.40}$$

$$\frac{N}{\varphi_1 A}+\frac{c_xM_x}{\varphi_g\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_E}\right)W_x}+\frac{c_yM_y}{\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_E}\right)W_y}\leqslant 1{,}10\ R. \tag{XI.41}$$

În aceste relații coeficientul 1,10 ține seama de faptul că însumarea tuturor efectelor în acest caz are o influență pe o zonă foarte mică a secțiunii.

Stîlpii care au pe înălțime o variație în trepte se verifică considerîndu-se separat cele două părți ale stîlpului, partea superioară și inferioară.

Relațiile folosite la cele două părți ale stîlpului sînt aceleași ca la stîlpii cu secțiune constantă ; determinarea lungimilor de flambaj se face însă în mod diferit după cum se va arăta mai departe.

La stîlpii cu secțiune plină ai halelor cu poduri rulante, în dreptul căilor de rulare ale podurilor rulante se fac în general goluri pentru circulația oamenilor ; asemenea goluri se fac în diferite cazuri și la alte niveluri. Stîlpii se verifică și în dreptul acestor goluri, unde intervin unele solicitări suplimentare (fig. XI.17). La mijlocul înălțimii golului există din solicitările stîlpului, ca element al cadrului, un efort axial N, un moment M și o forță tăietoare T ; din momentul M rezultă cuplul N_1h_1. În secțiunea $a-a$ a stîlpului de la capătul golului va rezulta

$$\sigma=\frac{N+2N_1}{2A_1}+\frac{Thy}{4I_{x_1}}\leqslant R \tag{XI.42}$$

și

$$\tau=\frac{T}{2th'}\leqslant R_f. \tag{XI.43}$$

Se verifică și relația

$$\sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\leqslant R. \tag{XI.44}$$

Notațiile rezultă din fig. XI.17 ; în aceste relații :

A_1 este aria secțiunii unei ramuri a golului ;

I_{x_1} — momentul de inerție al ramurii golului în raport cu axa neutră proprie x_1-x_1 ;

y — distanța de la axa x_1-x_1 la fibra de margine cea mai solicitată a secțiunii unei ramuri.

Solicitările N, M și T trebuie să corespundă unui anumit caz de încărcare, care duce la solicitarea cea mai defavorabilă a stîlpului în zona golului. Pentru momentul M este indicat să se ia la verificare valoarea cea mai mare de pe înălțimea golului.

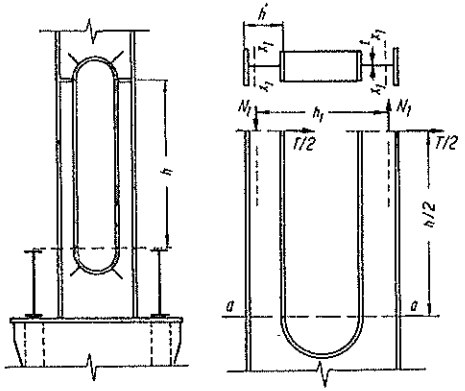


Fig. XI.17. Gol de circulație în stîlp.

Stîlpii alcătuiți din elemente depărtate, solidarizați cu zăbrelușe, se verifică în același mod ca și stîlpii cu secțiune plină, ținîndu-se seama și de particularitățile lor de alcătuire.

În cazul cînd momentul acționează în planul $x-x$ și flambajul se produce în planul $y-y$ (fig. XI.18) relația de verificare este:

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A}+\frac{c_y M_y x}{\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_E}\right) I_y}\right]\frac{1}{\varphi_r}\leqslant R \qquad \text{(XI.45)}$$

în care, pentru cazul din fig. XI.18;

$$N=N_i+P\,;\quad M_y=M_i-N_i(d-x)+Px+Th\,;$$

T este forța transversală în capătul superior al stîlpului;
A — aria secțiunii totale a stîlpului;
I_y — momentul de inerție în raport cu axa $y-y$ a întregii secțiuni a stîlpului;
x — distanța de la axa $y-y$ la axa ramurii care se verifică;
φ_r — coeficientul minim de flambaj al ramurii, pentru distanța l_1 între două noduri;
σ — efortul unitar de compresiune N/A;
σ_E — se ia în raport cu $y-y$ și are valoarea $\sigma_E=\frac{\pi^2 E}{\lambda_{tr}}$;

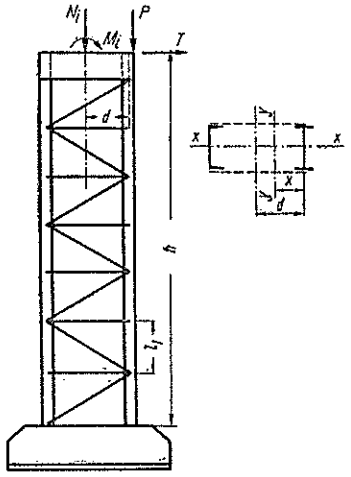


Fig. XI.18. Stîlp solidarizat cu zăbrelușe.

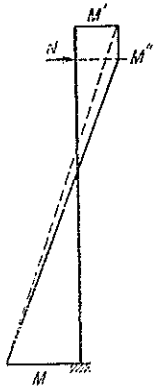


Fig. XI.19. Distribuția momentului pe stîlp.

c_y este un coeficient care ține seama de distribuția momentului pe lungimea stîlpului, în general $c_y=0{,}6+0{,}4\frac{M'}{M}\geqslant 0{,}4$, momentele fiind luate cu semnele lor; momentul M' la capătul superior al stîlpului este în acest caz $M'=M_i-N_i(d-x)+Px$.

Dacă pe înălțimea stîlpului sînt forțe transversale (fig. XI.19) care ar face ca în zona centrală a lungimii de flambaj a stîlpului să apară un moment M'', se recomandă să se adopte $c_y=1{,}00$.

În cazul cînd există și un moment M_x în planul $y-y$ relația de verificare este

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A}+\frac{c_y M_y x}{\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_E}\right) I_y}+\frac{c_x M_x y}{\left(1-\frac{\sigma}{\sigma_E}\right) I_x}\right]\frac{1}{\varphi_r}\leqslant 1{,}10\ R \qquad \text{(XI.46)}$$

în care, față de cele arătate în legătură cu relația (XI.45):
c_x are aceeași semnificație, dar este determinat în raport cu distribuția pe înălțimea stîlpului a momentului M_x;
y este distanța de la axa $x-x$ la fibra comprimată cea mai depărtată de axa $x-x$;
σ_E pentru termenul al treilea din membrul întîi corespunde flambajului în raport cu axa $x-x$, deci $\sigma_E=\frac{\pi E}{\lambda_x}$;

I_x este momentul de inerție al secțiunii întregi în raport cu axa $x-x$.

În general însă, în cazul stîlpilor, momentele M_x din planul longitudinal $y-y$ nu există sau au valori mici, forțele care acționează în acest plan fiind suportate de contravîntuirile verticale de pe șirurile longitudinale de stîlpi.

Sînt cazuri cînd forța transversală T este aplicată excentric (fig. XI.20) sau o forță longitudinală L este aplicată în capătul stîlpului în dreptul unei ramuri; dacă aceasta nu este luată de un portal, asupra stîlpului va acționa și un moment de răsucire M_r. Pentru cazul din fig. XI.20 momentul de răsucire este

$$M_r=Td \qquad \text{(XI.47)}$$

astfel că asupra stîlpului acționează momentul M_r și forța transversală T aplicată în planul $x-x$. Momentul M_r se poate descompune în două cupluri $T_1 a$ și $T_2 b$, astfel că

$$M_r=T_1 a+T_2 b. \qquad \text{(XI.48)}$$

Cînd $a\leqslant 1{,}5\ b$ se poate lua

$$T_1=M_r/2a \text{ și } T_2=M_r/2\ b. \qquad \text{(XI.49)}$$

Stîlpii din elemente depărtate solidarizate cu zăbrelușe dezvoltate în planul paralel cu zăbrelușele, pe lîngă verificările menționate, este necesar

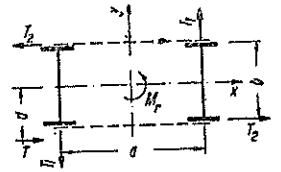


Fig. XI.20. Stîlp solicitat de forțe transversale excentrice.

să fie verificați și la pierderea stabilității ramurii cu efortul de compresiune cel mai mare într-un plan paralel $y-y$ perpendicular pe planurile zăbrelușelor; verificarea se face cu relația

$$\frac{N_r}{\varphi_1 \varphi_r A_r} \leqslant R \qquad \text{(XI.50)}$$

în care: N_r este efortul axial în ramură calculat ca la o grindă cu zăbrele, ținîndu-se seama, dacă este cazul, de variația efortului în lungul ramurii;

φ_1 — determinat conform relației (XI.17);

φ_r — coeficientul minim de flambaj al ramurii, determinat cu lungmea de flambaj egală cu distanța l_1 dintre două noduri vecine formate de zăbrelușe și ramură;

A_r — aria secțiunii ramurii.

d. Lungimi de flambaj

Lungimile de flambaj ale stîlpilor halelor au valori care depind de tipul stîlpului, de modul de legătură a stîlpului cu fundația, de felul legăturii stîlpului la capătul superior cu riglele cadrului și de existența unor legături intermediare pe înălțimea stîlpului; legăturile la capătul superior al stîlpului pot fi articulate sau rigide și pot avea deplasări limitate.

În planul cadrului transversal rigiditatea legăturii de la capătul superior al unui stîlp este determinată de raportul dintre rigiditatea riglelor din deschiderile alăturate și rigiditatea stîlpului. Pentru stîlpi cu secțiune constantă (fig. XI.21) acest raport este

$$k = \frac{r_g}{r_s} = \left(\frac{I_{g1}}{l_{g1}} + \frac{I_{g2}}{l_{g2}}\right)\frac{l_s}{I_s}. \qquad \text{(XI.51)}$$

În general, în plan transversal halei, stîlpii sînt încastrați în fundație. Lungimea de flambaj a unui stîlp este

$$l_f = \mu l_s \qquad \text{(XI.52)}$$

în care l_s este înălțimea stîlpului.

Coeficientul μ în funcție de k este dat în tabele; în tabelul XI.3 sînt date valorile coeficientului μ în situația cînd stîlpul este încastrat în fundație și la capătul superior are legături cu diferite rigidități, exprimate prin coeficientul k.

Tabelul XI.3

$k = \left(\frac{I_{g_1}}{l_{g_1}} + \frac{I_{g_2}}{l_{g_2}}\right)\frac{l_s}{I_s}$	Valoarea coeficientului k						
	0	0,10	0,20	0,30	0,50	1,00	$\geqslant 2{,}0$
μ	2,0	1,60	1,50	1,40	1,28	1,16	1,0

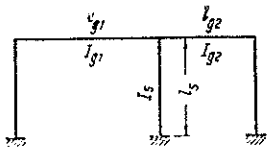


Fig. XI.21. Elemente pentru stabilirea rigidității legăturii superioare.

Fig. XI.22. Stîlp cu două forțe la înălțimi diferite.

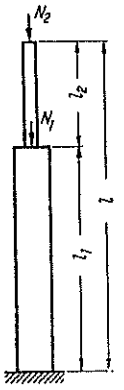


Fig. XI.23. Stîlp cu o treaptă de variație.

Cînd un stîlp cu secțiune constantă, în afară de forța axială N_2, aplicată la capătul superior, suportă o a doua forță N_1, aplicată la o înălțime l_1 de la bază (fig. XI.22), valoarea coeficientului μ depinde de raportul N_1/N_2, de raportul lungimilor l_2/l_1 și de legătura capătului superior cu riglele cadrului.

În tabelul XI.4 sînt date valorile coeficientului μ pentru stîlpi încastrați în fundație.

Pentru valori intermediare ale rapoartelor l_2/l_1 și N_1/N_2, valorile coeficienților μ se pot interpola liniar.

Verificarea stabilității stîlpului se face cu relația $N=N_1+N_2$. Stîlpii a căror secțiune variază în trepte se pot verifica separat pentru fiecare porțiune cu secțiune constantă. În cazul stîlpilor cu o singură treaptă de variație a secțiunii (fig. XI.23), lungimile de flambaj pentru cele două porțiuni cu secțiune diferită se pot lua

$$l_{1f} = \mu_1 l_1 \text{ și } l_{2f} = \mu_2 l_2. \qquad \text{(XI.53)}$$

Coeficienții μ_1 și μ_2 se stabilesc în funcție de rapoartele N_1/N_2, I_2/I_1 și l_2/l_1 și de felul legăturii stîlpului la partea superioară, legătura cu fundația fiind încastrată; valorile coeficienților μ_1 și μ_2 sînt date în tabelul XI.5.

Lungimile de flambaj ale stîlpilor halelor în plan longitudinal (perpendiculare pe cadrul transversal) se determină ținîndu-se seama de legăturile longitudinale ale stîlpilor la diferite niveluri. Stîlpii, pentru direcția longitudinală halei, sînt în general articulați în fundație.

Tabelul XI.4

Legătura la capătul superior	$\frac{I_2}{I_1}$	$\frac{N_1}{N_2} \geqslant 3$	$\frac{N_1}{N_2} = 1$
Cu rotiri și deplasări libere	0,3	1,8	2,0
	0,6	1,5	1,7
	1,0	1,3	1,6
Cu rotiri împiedicate și deplasări libere	0,3	1,0	1,2
	0,6	0,9	1,0
	1,0	0,8	0,9
Cu rotiri libere și deplasări împiedicate	0,3	0,6	0,6
	0,6	0,5	0,6
	1,0	0,5	0,6
Cu rotiri și deplasări împiedicate	0,3	0,5	0,5
	0,6	0,4	0,4
	1,0	0,4	0,4

Tabelul XI.5

Coeficienții μ_1 și μ_2

Condiții de rezemare		$\frac{N_1}{N_2}$	⩾3								1							
Capătul inferior	Capătul superior	I_2/I_1	0,6		0,3		0,1		0,05		0,6		0,3		0,1		0,05	
		μ / I_2/I_1	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2
Capătul inferior al stîlpilor este încastrat	Cu rotiri și deplasări relative libere	⩽0,6	2,3	3,0	2,4	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0	2,7	3,0	2,8	3,0	3,3	3,0	4,2	3,0
		1,0	2,6	3,0	2,8	3,0	3,6	2,3	4,7	2,1	3,3	3,0	3,4	2,8	5,0	2,2	6,6	2,1
	Cu rotiri împiedicate și deplasări libere	⩽0,6	1,6	3,0	1,8	3,0	3,0	3,0	2,1	3,0	1,7	3,0	1,9	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0
		1,0	1,8	2,8	2,0	2,2	2,2	1,4	2,4	1,1	2,0	2,1	2,2	1,7	2,6	1,2	3,3	1,0
	Cu rotiri libere și deplasări împiedicate	⩽0,6	1,0	2,5	1,1	2,5	1,6	2,5	2,0	2,5	1,1	2,5	1,3	2,5	1,9	2,5	2,3	2,5
		1,0	1,2	1,9	1,5	1,6	2,0	1,3	2,4	1,1	1,4	1,5	1,7	1,6	2,3	1,1	2,9	0,9
	Cu rotiri și deplasări împiedicate	⩽0,6	0,7	2,0	0,8	2,0	1,1	2,0	1,5	2,0	0,8	2,0	0,9	2,0	1,3	2,0	1,7	2,0
		1,0	0,9	1,4	1,1	1,2	1,6	1,0	1,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,0	1,8	0,8	2,2	0,7

În lipsa unor contravîntuiri pe șirurile longitudinale de stîlpi, lungimea de flambaj a stîlpului este

$$l_f = l \qquad \text{(XI.54)}$$

lungimea l luîndu-se de la baza fundației la bara de legătură de la capetele superioare ale stîlpilor.

Pe șirurile de stîlpi care au contravîntuiri verticale și legături orizontale între stîlpi și contravîntuirile verticale la diferite niveluri, l din relația (XI.54) se înlocuiește cu l_1, care este distanța dintre fundație și prima legătură sau cea mai mare distanță între două legături consecutive.

Lungimile de flambaj în plan longitudinal halei ale stîlpilor cu secțiune variabilă se stabilesc pe fiecare porțiune cu secțiune constantă. Pentru partea inferioară, între fundație și grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante lungimea de flambaj este egală cu distanța de la baza stîlpului la planul de prindere a grinzilor de stîlpi, prindere care se consideră articulată, deoarece există contravîntuiri verticale sau portale pe șirurile longitudinale de stîlpi ; în cazul cînd între grinzile căilor de rulare și fundații ar exista unele legături orizontale între stîlpi și contravîntuirile verticale, se ia ca lungime de flambaj distanța între legături sau între o legătură și baza stîlpului.

Pentru partea superioară a stîlpului lungimea de flambaj este egală cu lungimea părții superioare cu secțiune constantă, dacă pe această porțiune nu sînt legături intermediare între stîlpi și contravîntuirile verticale.

4. Calculul legăturii între grinzi, ferme, rigle și stîlpi

a. Legătura între grinda longitudinală și stîlpi

Legătura între grinda longitudinală și stîlp poate fi rigidă ; în acest caz pe reazem apare un moment, din care rezultă în tălpile grinzii cu zăbrele eforturile axiale S în talpa superioară și I în talpa inferioară (fig. XI.24). Pentru o soluție conform fig. XI.25, talpa superioară se prinde la montaj de placa *2* din capul stîlpului cu suduri peste cap și prin placa *1* cu suduri laterale și cap la cap, în măsura necesară transmiterii întregului efort S (fig. XI.25, *a*) ; talpa orizontală a barei, pe porțiunea care se prinde de stîlp, nu trebuie să prezinte îndoiri transversale, care ar împiedica executarea sudurilor. Placa *2* din capul stîlpului, care se așază la montaj, se prinde de tălpile și de inima stîlpului pe porțiunile din afara tălpii superioare a grinzii) prin sudură peste cap.

Placa inferioară *3* a nodului se sudează de placa scaunului.

Talpa inferioară a grinzii longitudinale cu zăbrele se prinde de o rigidizare orizontală a stîlpului cu sudură pentru întregul efort I (fig. XI.25, *b*).

În cazul cînd legătura grinzii longitudinale cu stîlpul este articulată, prinderea tălpii superioare se poate face în același mod ; talpa inferioară se

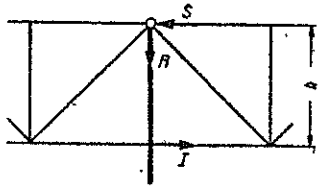


Fig. XI.24. Grinzi longitudinale și legătura cu stîlpii.

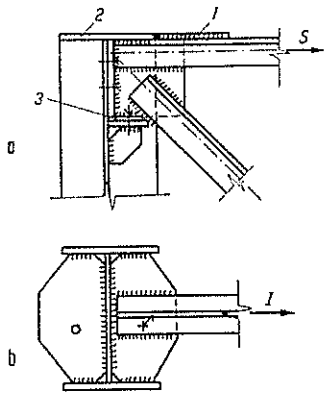


Fig. XI.25. Legături la talpa superioară și inferioară.

prinde însă de rigidizarea orizontală a stîlpului cu buloane, montate în găuri ovale.

La halele la care grinzile longitudinale nu suportă ferme intermediare, prinderea grinzilor de stîlpi se face astfel încît să se poată transmite la contravîntuirile verticale de pe șirurile de stîlpi forțele orizontale longitudinale.

b. Legătura dintre ferme și grinda longitudinală

Fermele sînt așezate pe talpa superioară a grinzii longitudinale. Legătura între ferme și grinda longitudinală, obișnuit se face articulat, bara de la talpa orizontală putînd lipsi.

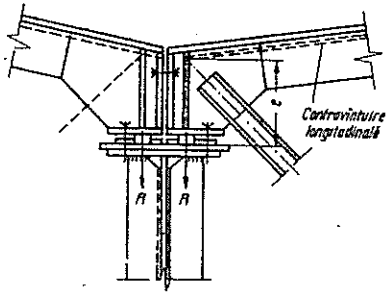


Fig. XI.26. Așezarea fermei pe grinda longitudinală.

Așezarea fermei pe talpa superioară se face conform fig. XI.26; forțele orizontale transversale halei, primite prin grinzile longitudinale vor fi luate de contravîntuirile longitudinale, de regulă așezate în planul tălpilor superioare ale fermelor, la care se transmit cu o excentricitate e. De efectul produs prin această excentricitate se va ține seama la dimensionarea guseului de reazem al fermei, și eventual, la dimensionarea barelor fermei.

Este necesar ca montanții grinzii longitudinale care vin la nodurile unde

reazemă fermele, să fie prelungiți pînă la talpa superioară a grinzii de care se sudează. La nodurile unde reazemă fermele se introduc plăci, cu grosime egală cu grosimea plăcii din capetele stîlpilor, care se sudează de talpa grinzii longitudinale.

c. Legătura dintre ferme și stîlpi

Fermele fac parte din cadrul transversal; este necesar ca legătura dintre ferme și stîlpi să corespundă solicitărilor la care este supusă în această soluție.

La fermele așezate pe capătul stîlpului și legate articulat de stîlp se transmit prin articulație încărcările verticale R ce revin fermei și o forță orizontală H (fig. XI.27). Forța R se transmite prin pragul așezat sub talpa fermei; forța orizontală H se transmite prin plăcile așezate de o parte și alta a pragului.

În cazul unor ferme legate rigid de stîlpi, prinderea transmite prin nodul la care este prinsă diagonala de reazem o forță verticală R, care este rezultanta eforturilor din diagonală și talpă și un moment, momentul de la nodul respectiv determinat prin calculul solicitărilor din cadru; momentul se poate descompune într-un cuplu, prin împărțirea cu înălțimea h_1 a fermei pe reazem.

La forța orizontală H rezultată din moment se adaugă și o eventuală forță orizontală transmisă de rigla cadrului.

Pentru cazul din fig. XI.28, calculul prinderii la nodul cu diagonală se face verificîndu-se sudura de prindere a guseului de placa transversală la forțele R și H, ținîndu-se seama și de excentricitatea prinderii.

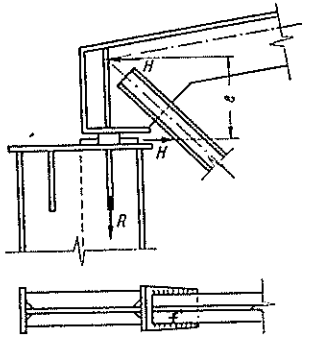


Fig. XI.27. Fermă așezată pe stîlp.

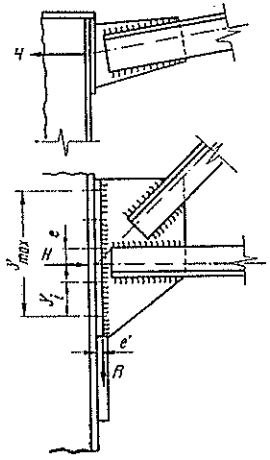


Fig. XI.28. Fermă cu diagonală ascendentă.

Efortul unitar τ în sudură este

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{R}{2ah}\right)^2 + \left(\frac{H}{2ah} + \frac{3He}{2h^2}\right)^2} \leqslant R_f^s \qquad \text{(XI.55)}$$

în care e este excentricitatea cu care este aplicată forța H față de centrul de greutate al prinderii cu sudură ; se ține seama și de excentricitatea e' cu care este aplicată forța R față de axa sudurilor de prindere a guseului de placa verticală.

Prinderea de stîlp, realizată cu șuruburi, se verifică ținîndu-se seama că forța R se transmite prin pragul prevăzut în acest scop. Prinderea cu șuruburi se calculează la momentul He și la efortul de întindere H, aici e fiind excentricitatea forței H față de centrul de greutate al prinderii cu șuruburi. Considerînd că se produce o rotire în jurul șurubului de margine din partea comprimată, efortul de întindere N în tija șurubului cel mai solicitat este

$$N = \frac{H}{n} + \frac{M_{y\,max}}{2\Sigma y_i^2} \qquad \text{(XI.56)}$$

unde n este numărul șuruburilor prinderii.

Șurubul se verifică folosindu-se relația

$$\frac{4N}{\pi d_i^2} \leqslant R_i^b \qquad \text{(XI.57)}$$

în care d_i este diametrul tijei șurubului la fundul filetului.

Efortul de strivire pe prag este R/bl și nu trebuie să depășească cu mai mult decît 30% rezistența de calcul, aici b fiind lățimea și l grosimea pe care se face rezemarea pe prag ; se face și o verificare a prinderii pragului de talpa stîlpului.

La prinderea tălpii superioare se verifică sudurile dintre gusee și placă la efortul S din talpa superioară ; șuruburile care prind placa de talpă se verifică la efortul de întindere care apare în diferite situații în prinderea tălpii de stîlp.

d. Calculul prinderii riglelor de stîlp

La legătura riglelor cu secțiune plină de stîlp se face de regulă o racordare între riglă și stîlp. Cînd racordarea este după o dreaptă (fig. XI.29, *a*) de obicei se mărește grosimea inimii în zona colțului la 2 pînă la 3 ori l, l fiind grosimea inimii stîlpului sau a riglei ; se poate păstra grosimea inimii sau se poate mări mai puțin, introducîndu-se una sau două rigidizări.

La legătura riglelor de cadre distribuția eforturilor unitare este complexă. Considerînd o asemenea legătură cu o formă curbă (fig. XI.29, *b*), eforturile unitare σ sînt date de relația

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{Ar} + \frac{M}{kAr} \cdot \frac{y}{r+y} \qquad \text{(XI.58)}$$

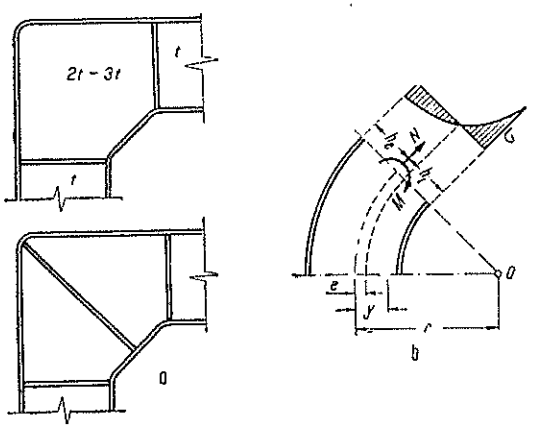


Fig. XI.29. Legături între stîlp și rigle.

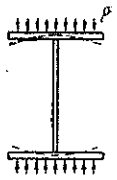


Fig. XI.30. Încovoierea transversală a tălpilor.

în care

$$k = \frac{1}{A}\int \frac{y\,dA}{r+y}.$$

Tălpile datorită curburii sînt expuse la încovoiere transversală deoarece eforturile unitare σ din tălpi dau componente radiale (fig. XI.30). Această încovoiere are ca efect o micșorare a eforturilor unitare σ în punctele tălpii depărtate de inimă, ceea ce conduce la o repartizare neuniformă a eforturilor unitare σ pe lățimea tălpilor, cu atît mai accentuată cu cît lățimea lor este mai mare ; în același timp în tălpi apar și eforturi unitare σ_t din încovoierea transversală.

Se înlătură sau se limitează aceste incoveniente introducîndu-se, pe lîngă rigidizările așezate pe toată înălțimea secțiunii, și unele rigidizări scurte la distanțe pînă la $b/2$, unde b este lățimea tălpii (v. fig. IX.16, *b*). În cazul unor colțuri de cadru dezvoltate (v. fig. IX.16, *c*), se introduce o rigidizare paralelă cu talpa, între care se prevăd rigidizări transversale.

În cazul nodurilor rigide ale stîlpilor interiori, se poate face un calcul exact ; o verificare satisfăcătoare din punct de vedere practic se poate face considerînd că fiecare ramură formează cu una din celelalte două un colț de margine (fig. XI.31).

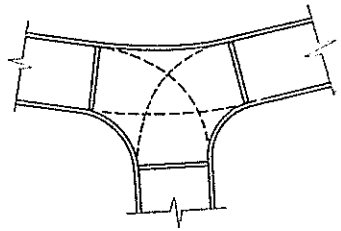


Fig. XI.31. Nod rigid la stîlpii interiori.

5. Calculul contravîntuirilor

a. Contravîntuirile acoperișului

Contravîntuirile transversale din planul acoperișului de la capetele halelor metalice sînt supuse acțiunii vîntului pe frontoanele halei, de la care le revin încărcări orizontale în funcție de modul cum este alcătuită șarpanta frontonului (fig. XI.32); unele contravîntuiri mai pot primi și alte încărcări orizontale, cum ar fi de la mijloacele de transport suspendate de ferme, de la unele instalații care au legături orizontale prinse de contravîntuiri și care sînt supuse la întindere, ca de exemplu bare pentru energie electrică, forțe date de cutremur etc.

În general contravîntuirile sînt simplu rezemate pe o deschidere; cînd se iau în considerare la conlucrarea spațială de ansamblu poate rezulta necesar să fie rezolvate în formă de grinzi continue pe mai multe deschideri.

În cazul contravîntuirilor transversale simplu rezemate pe o deschidere cu diagonale încrucișate se pot determina eforturile în bare descompunînd grinda în două sisteme, unul cu diagonale întinse și altul cu diagonale comprimate (fig. XI.33), considerînd pentru fiecare sistem forța la noduri egală cu jumătate din cele ce acționează asupra grinzii reale.

Prin însumare rezultă eforturile în bazele grinzii cu diagonale încrucișate.

Contravîntuirile transversale de la rosturi sau cele intermediare, cînd există, se alcătuiesc ca și cele de capete, avînd în vedere că rolul acestor contravîntuiri este și acela de a asigura o bună rigiditate a ansamblului construcției halei.

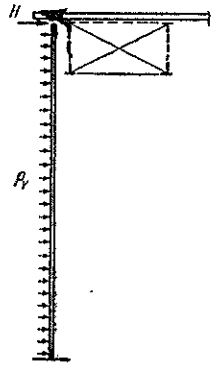


Fig. XI.32. Acțiuni asupra contravîntuirilor transversale.

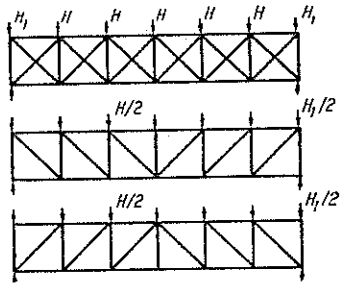


Fig. XI.33. Descompunerea contravîntuirilor cu diagonale încrucișate.

Contravîntuirile verticale dintre ferme, dacă sînt contravîntuiri transversale și la nivelul tălpilor inferioare, au rolul de a uniformiza încărcările luate de cele două contravîntuiri; cînd există contravîntuiri transversale numai la una din tălpile fermelor, contravîntuirile verticale transmit forțele de la talpa fără contravîntuire la talpa cu contravîntuire (fig. XI.34).

Contravîntuirile longitudinale din planul învelitorii sînt grinzi cu zăbrele pe o deschidere și primesc în acest caz forțe rezultate din presiunea vîntului pe pereți, cînd aceasta este transmisă la contravîntuire și eventual din împingerea dată de elementele învelitorilor sau de la alte elemente, cum ar fi forțele orizontale date de ferme intermediare.

În cazul cînd se ia în considerare conlucrarea spațială, contravîntuirile longitudinale sînt grinzi cu zăbrele continue și eforturile se determină ca la o grindă continuă, acțiunile la care este supusă rezultînd din calculul de conlucrare spațială.

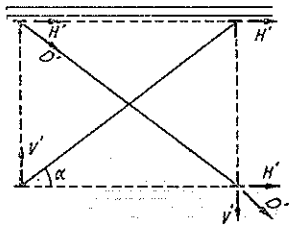


Fig. XI.34. Transmiterea forțelor prin contravîntuiri verticale.

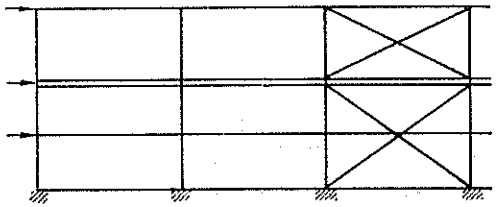


Fig. XI.35. Solicitarea contravîntuirilor stîlpilor.

b. Calculul contravîntuirilor stîlpilor

Contravîntuirile stîlpilor sînt supuse la diferite acțiuni rezultate din modul de alcătuire al structurii construcției halei: presiunea vîntului pe frontoane, forțe în lungul halei produse de mijloacele de ridicare și transport, efectele variației de temperatură, forțe date de acțiunea cutremurului. Aceste acțiuni se transmit contravîntuirilor prin elemente de legătură între stîlpi și contravîntuirile verticale de pe șirurile de stîlpi (fig. XI.35).

Cînd pe un șir de stîlpi sînt două contravîntuiri, în general acțiunile pe ansamblul construcției se dau celor două contravîntuiri.

Elementele de legătură între stîlpi și prinderile lor se verifică la solicitările pe care le transmit la contravîntuire.

În unele situații se prevăd la anumite niveluri legături longitudinale între stîlpi în scopul reducerii lungimilor de flambaj ale stîlpilor; dacă aceste legături nu transmit alte forțe, verificarea se poate face considerîndu-se în barele de legătură un efort cu cel puțin 1/100 din forța axială din stîlp.

6. Bazele stîlpilor

a. Rolul bazelor, solicitările la care sînt supuse

Baza stîlpului are rolul de a face legătura între stîlp, care aparține unei tructuri, și fundația pe care reazemă, transmițînd acesteia solicitările care rezultă din calculul static; baza are o alcătuire corespunzătoare legăturii admisă în schema statică.

În general, bazele stîlpilor au o legătură încastrată cu fundațiile și sînt solicitate la forțe axiale din stîlpi, momente încovoietoare și forțe orizontale; momentele încovoietoare și forțele orizontale au în general sensuri diferite, corespunzător combinațiilor de acțiuni din timpul exploatării (fig. XI.36).

Reazeme articulate se fac mai rar, de obicei la hale mai ușoare sau cînd, datorită terenului pe care se fundează, nu se admite transmiterea la fundații a unor momente încovoietoare mari (fig. XI.37).

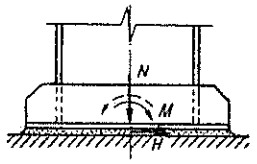


Fig. XI.36. Solicitarea bazei încastrate.

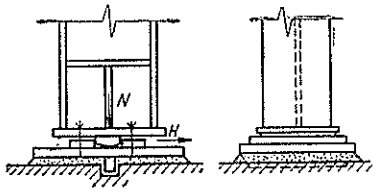


Fig. XI.37. Solicitarea bazelor articulate.

b. Calculul bazelor stîlpilor

Calculele ce se fac în legătură cu bazele stîlpilor urmăresc asigurarea transmiterii solicitărilor de la stîlp la bază și de la bază la fundație.

Verificările care se fac rezultă din modul de alcătuire a bazei; legătura dintre stîlp și bază se tratează ca o prindere a stîlpului de bază după modul ei de alcătuire.

Legătura între bază și fundație, elementele bazei și buloanele de ancoraj se calculează conform cap. XVII.6, b din lucrarea [31].

Bazele articulate se verifică urmărindu-se același principiu: asigurarea transmiterii solicitărilor de la stîlp la bază și de la bază la fundație; se verifică de asemenea elementele care împiedică deplasarea elementelor articulației, unele față de altele, sub acțiunea forței transversale H (v. fig. XI.37).

Deplasarea plăcii legată de stîlp față de placa legată de fundație nu poate fi asigurată prin buloanele care se prevăd obișnuit la această bază.

XII. Pereții halelor

1. Generalități

Pereții halelor au rolul să închidă lateral spațiul halelor și să asigure protecția termică și fonică, creînd astfel condițiile interioare necesare activității oamenilor și desfășurării proceselor tehnologice. La halele reci nu sînt necesare măsuri de protecție riguroase; la halele care se încălzesc iarna se iau măsuri de protecție termică. Cînd în hală se produc degajări mari de căldură, dacă pereții nu sînt izolați, se pot forma în hală curenți reci, supărători pentru oameni, cu viteze cu atît mai mari cu cît diferența de temperatură dintre zona centrală și zona pereților este mai mare. Pentru a nu se forma curenți supărători se recomandă ca această diferență de temperatură să nu depășească 8 ... 10°C și uneori chiar mai puțin. Pentru a se evita astfel de curenți, apare necesitatea în unele cazuri ca pe o înălțime de 3—4 m să se execute pereți care să izoleze din punct de vedere termic. În halele în care se produc degajări de vapori de apă, dacă pereții au o conductibilitate termică mare, sînt posibile condensări pe suprafața pereților; apa din condens îngheață iarna și apoi se topește, scurgîndu-se pe pereți, cînd se ridică temperatura. Condensările pot deveni supărătoare în hale cu umiditate mare și impun, pentru evitarea lor, măsuri de izolare mai bună. Pereții halelor metalice sînt legați de structura de rezistență a halelor și prin aceasta sînt antrenați în mișcările structurii; pereții se alcătuiesc astfel încît să primească fără inconveniente asemenea mișcări. Pereții pot avea, din variațiile de temperatură, mișcări deosebite de acelea ale scheletului metalic al halei; se iau măsuri ca aceste mișcări să nu producă deteriorări.

Pereții halelor contribuie în același timp la realizarea efectelor arhitectonice. Din arhitectura obișnuită a halelor industriale a început să se formeze o arhitectură specifică construcțiilor metalice și să se obțină efecte reușite prin scoaterea în evidență a scheletului și a elementelor metalice ale construcției. Efecte deosebit de reușite se obțin astăzi folosind elemente de închidere executate din materiale ușoare, izolante sau nu din punct de vedere termic, și care au forme și aspecte foarte variate. Fabricarea acestor elemente pe cale industrială, pe lîngă faptul că le asigură o calitate superioară, duc la reducerea volumului de muncă pe șantier și la scurtarea timpului de execuție.

2. Elemente pentru pereți

a. Pereți din elemente ușoare

Pentru unele categorii de hale, cum sînt halele neîncălzite și cele cu degajări mari de căldură, pereții se fac neizolați termic. Dintre posibilitățile de realizare a acestor pereți sînt:

Tabla ondulată zincată, eventual acoperită și cu vopsele sau pelicule subțiri din material plastic. Tabla trebuie să fie bine zincată, stratul de zinc aderent de tablă și grosimea lui suficientă pentru a rezista mult timp acțiunii corosive a mediului. Tablele ondulate se așază cu undele dispuse pe verticală și se prind de rigle orizontale, așezate la distanțe de 1,50—3,00 m (fig. XII.1). Tablele se înnădesc în dreptul riglelor, petrecîndu-se 80—100 mm,

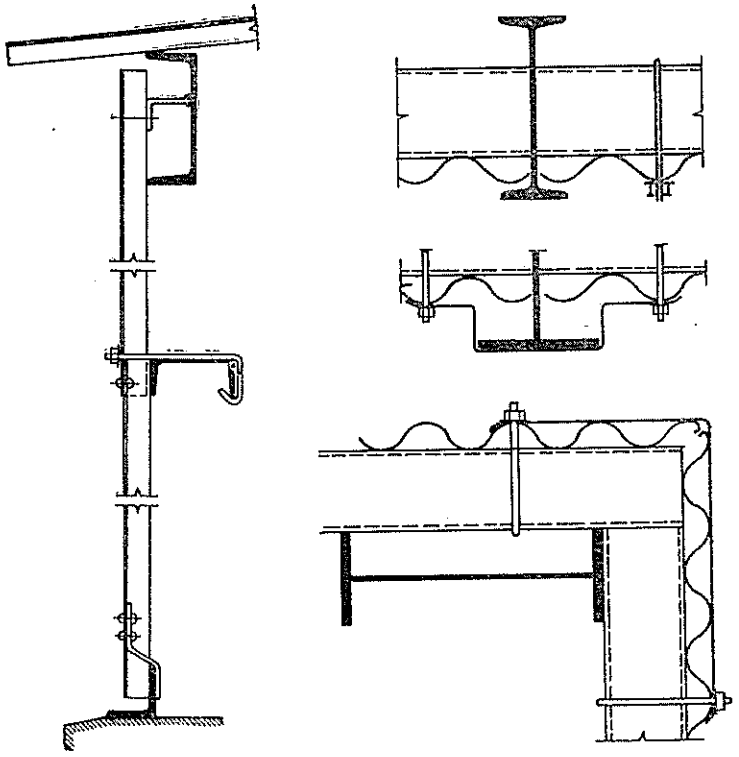


Fig. XII.1. Pereți din tablă ondulată.

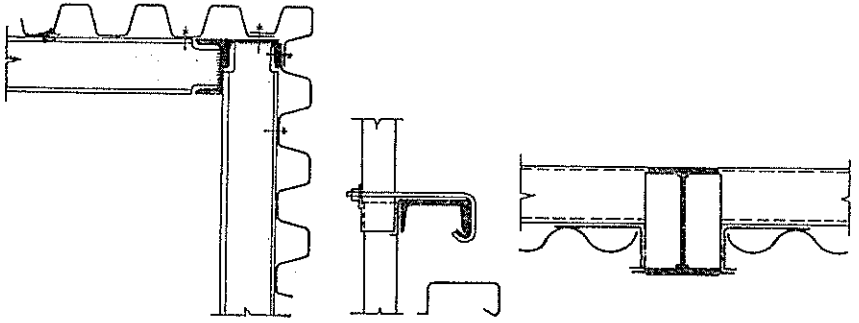


Fig. XII.2. Pereți din tablă cutată.

Fig. XII.3. Pereți din azbociment.

cu nituri de 6 mm diametru; între capul nitului și tablă se pun șaibe galvanizate. Prinderea tablelor de riglele șarpantei se face cu cîrlige sau cu agrafe galvanizate; o prindere simplă și ușor de executat se poate face cu șuruburi cu vîrful din oțel cementat, care pătrund în piesa metalică direct, fără găurire prealabilă.

Tabla cutată, zincată la cald, eventual și vopsită sau acoperită cu material plastic, permite obținerea unor pereți ușori; tablele cutate se pot livra în lungimi pînă la 12 m și distanța între riglele orizontale ale șarpantei pereților se poate mări pînă la 3 m. Prinderea tablelor de rigle se face cu șuruburi, fără găurire prealabilă (fig. XII.2).

Tabla de aluminiu, ondulată sau cutată, are azi o utilizare largă, fiind foarte rezistentă la acțiunile de coroziune; efectele arhitectonice sînt foarte reușite.

Plăcile ondulate din azbociment, care se montează la pereți ca și tablele ondulate. Pentru prindere se folosesc cîrlige zincate și agrafe din tablă zincată (fig. XII.3). Distanța între riglele șarpantei, pentru plăci de bună calitate, este de 2—3 m. La colțuri, la legătura cu stîlpii, se folosesc piese speciale din azbociment sau din tablă zincată.

Panourile plane sau ondulate din materiale plastice, opace sau translucide, colorate variat, constituie elemente des folosite la pereții halelor industriale; panourile translucide înlocuiesc cu succes ferestrele cu geamuri.

La halele izolate se folosesc elemente de pereți confecționate cu materiale izolante; *panourile termoizolante* sînt alcătuite variat. La exterior, în general se folosesc table ondulate zincate, table cutate sau table de aluminiu cu ondulații sau alte forme obținute prin presare. Izolația se poate realiza din plăci de beton expandat autoclavizat, fixat pe tablele exterioare, avînd fața dinspre interior finisată. Alteori, izolația termică este așezată între două elemente rezistente: table sau plăci din azbociment (fig. XII.4). Placa interioară poate fi mai subțire și eventual din alte materiale decît cea exterioară:

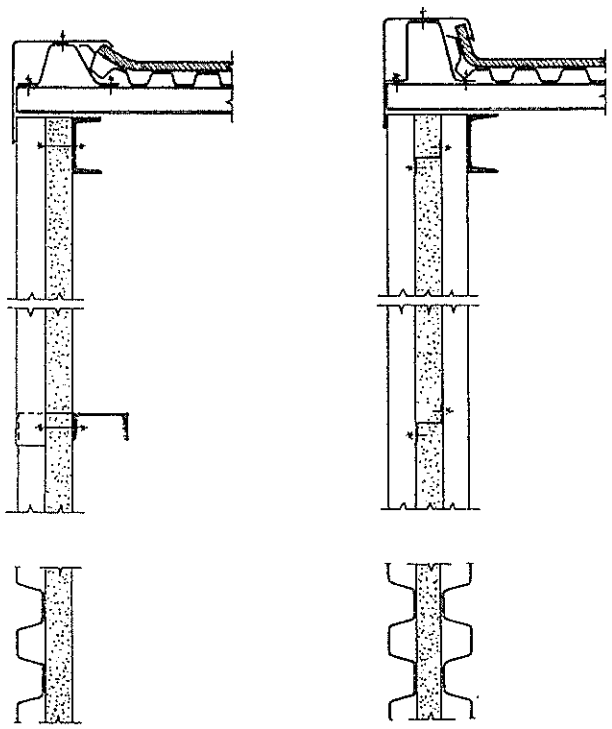


Fig. XII.4. Pereți din elemente izolante.

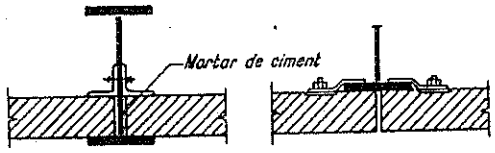


Fig. XII.5. Elemente din prefabricate de beton armat.

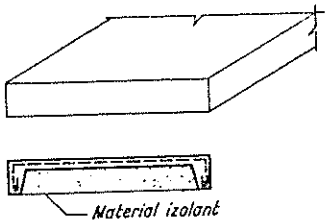


Fig. XII.6. Prinderea plăcilor de stîlp.

azbociment plan, materiale plastice etc. În cazul existenței a două foi, izolația termică dintre ele poate fi și din alte materiale: polistiren, vată minerală.

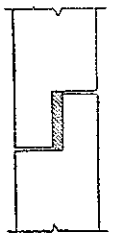


Fig. XII.7. Rost orizontal.

b. Pereți din elemente semigrele și grele

Plăcile din beton expandat autoclavizat sau din beton celular autoclavizat armate pot fi folosite la executarea pereților halelor; aceste plăci sînt și izolante termic. Plăcile prefabricate din beton armat, în general cu nervuri, se confecționează în lungimi de 3—6 m. Sînt grele și neizolante termic; devin izolante termic prin umplerea spațiului dintre nervuri cu un material izolant: beton de zgură etc. (fig. XII.5). Prinderea plăcilor de elementele șarpantei metalice a pereților se face ușor, dacă plăcile se așază lîngă talpa exterioară a stîlpilor; din loc în loc se pun corniere care se fixează de inima stîlpilor. Spațiile goale se umplu cu mortar de ciment. Un alt mod de prindere este cu agrafe metalice, care se fixează de plăci metalice prevăzute în plăcile prefabricate (fig. XII.6). La pereții din plăci prefabricate se pun probleme deosebite la etanșarea rosturilor orizontale dintre plăci, pentru a se evita pătrunderea apei la interior. O soluție este cea din fig. XII.7; spațiul vertical de 1—2 cm se umple cu un mastic.

3. Șarpanta pereților

a. Șarpanta pereților laterali

Pereții independenți, nelegați de scheletul metalic al clădirii, se fac foarte rar și numai în cazuri speciale. De regulă, pereții sînt legați de structura metalică. Înălțimea pereților este deseori mare. După modul de alcătuire, pereții pot fi susținuți complet de scheletul metalic sau numai parțial. Pereții de tablă și cei din azbociment cer o rețea de bare care să suporte atît greutatea lor, cît și presiunile date de vînt; pereții din plăci prefabricate din beton transmit greutatea lor direct fundațiilor sau grinzilor, care se prevăd în acest scop cînd înălțimea pereților este mare (peste 15—20 m) sau cînd pereții au goluri. Forțele orizontale sînt, în general, luate de elemente metalice; numai pereții din elemente de beton armat pot transmite în unele cazuri aceste forțe direct la stîlpi.

În mod obișnuit este necesar să se prevadă o șarpantă metalică care să susțină elementele pereților.

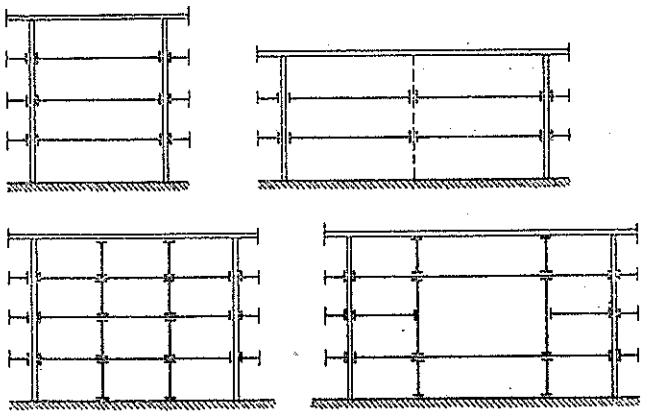


Fig. XII.8. Șarpanta pereților.

Cînd distanța între stîlpii structurii de rezistență nu este mare, maximum 6 m, șarpanta pereților poate fi alcătuită numai din rigle orizontale, prinse de stîlpii structurii.

La hale înalte poate apărea necesitatea introducerii unor rigle verticale, în special la pereții subțiri din zidărie. La hale cu stîlpii rari, se introduc stîlpi intermediari. Riglele orizontale pot străbate ferestrele sau conturul ferestrelor poate fi limitat de rigle verticale (fig. XII.8). Șarpanta pereților se alcătuiește după materialul și după modul în care sînt executați pereții. Pereții alcătuiți din tablă ondulată sau din azbociment ondulat necesită rigle orizontale, care pot fi prinse de stîlpii halei, de alte rigle sau de stîlpi intermediari. Riglele orizontale se fac din profile U, din profile dublu T sau din profile Z. La pereții din plăci de beton nu este necesar să se prevadă rigle orizontale decît pentru legăturile necesare structurii de rezistență. Cînd distanța între cadrele structurii este mare, sînt necesari stîlpi intermediari.

b. Șarpanta frontoanelor

La alcătuirea șarpantei frontoanelor se folosesc stîlpi intermediari și rigle orizontale (fig. XII.9). Stîlpii sînt încastrați în fundație și reazemă sus pe contravîntuirea transversală superioară sau pe cea inferioară. Stîlpii din dreptul unor goluri mari, care pot exista în frontoane, se sprijină pe grinzi prevăzute deasupra golurilor. Stîlpii care nu ar putea fi așezați în

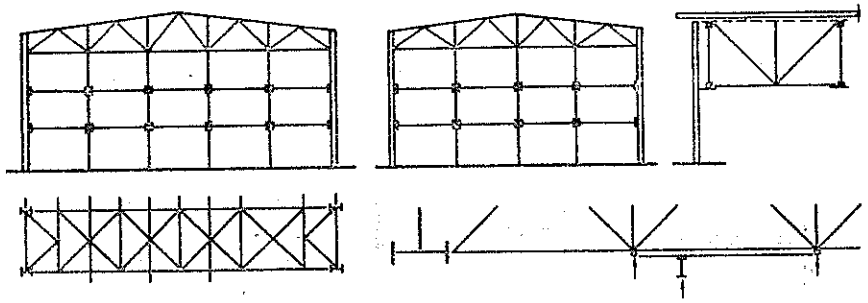


Fig. XII.9. Șarpanta frontoanelor.

dreptul nodurilor contravîntuirilor transversale acoperișului, ar trebui să reazeme pe talpa fermei, între nodurile ei. Pentru a se evita încovoierea transversală a tălpii fermei, se introduc grinzi suplimentare, care transmit forțele orizontale la nodurile contravîntuirii.

c. Prinderea riglelor și stîlpilor

La prinderea riglelor de stîlpi se urmărește să se ușureze cît mai mult montajul. Riglele care nu transmit încărcări verticale sau care transmit încărcări mici se prind cu șuruburi de niște mici scaune sudate pe stîlpi (fig. XII.10). Cînd riglele transmit și forțe verticale mai importante, cum este cazul riglelor de deasupra ușilor sau ferestrelor, se face o prindere capabilă să transmită reacțiunile de reazem (fig. XII.11). La prinderile pe fața tălpii stîlpului se poate folosi un scaun cu inima în sus. Prinderea unui profil dublu T, întărit cu platbande, se poate face direct de talpă prin intermediul inimii profilului. O prindere pe inima stîlpului se face de o rigidizare transversală întărită ; pentru continuitate se poate suda sus o placă. Stîlpii intermediari se prind în fundații încastrat, cu buloane de ancoraj după regulile obișnuite. La stîlpi, prinderea la capătul de sus de grinzile cu zăbrele longitudinale sau de ferme se face astfel încît legătura să transmită forțe orizontale, fără ca stîlpul să se încarce cu forțe verticale, pentru a nu împiedica deformația pe verticală a acestor grinzi cu zăbrele (fig. XII.12). Se evită prinderea stîlpilor intermediari de grinzile de frînare ale podurilor rulante, care ar transmite șarpantei pereților trepidații supărătoare ; astfel de prinderi se fac numai în cazuri rare și cu măsuri speciale.

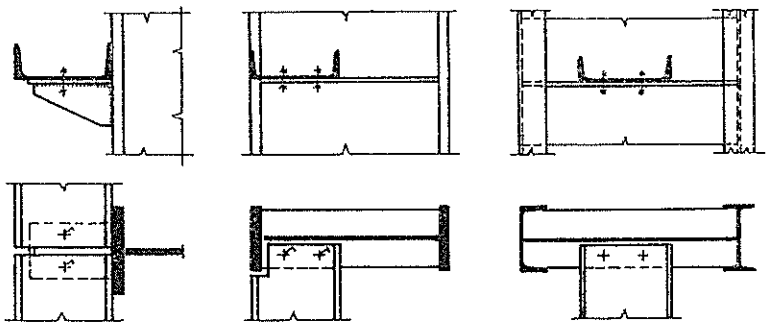


Fig. XII.10. Prinderea riglelor de stîlpi.

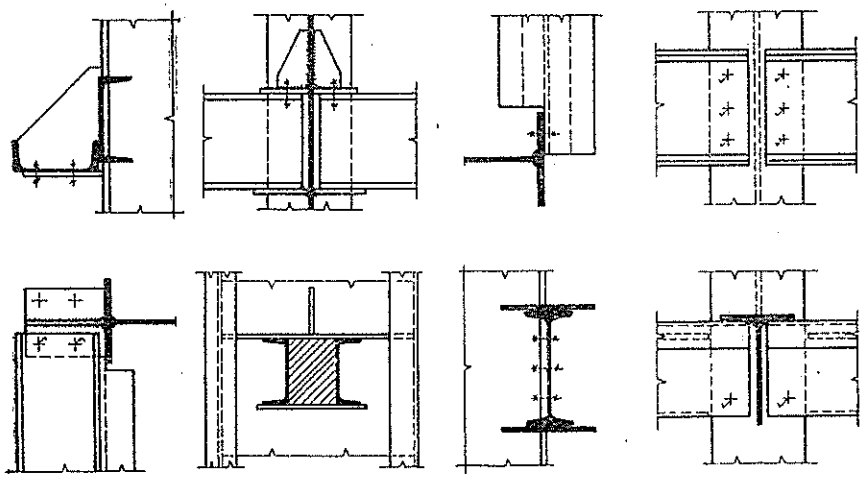


Fig. XII.11. Prinderea grinzilor orizontale.

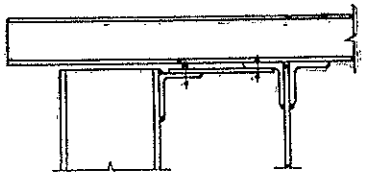


Fig. XII.12. Prinderea stîlpilor frontonului.

4. Contravîntuirile pereților și frontoanelor

a. Contravîntuirile pereților

Cînd elementele șarpantei pereților sînt astfel așezate încît pot fi prinse direct de stîlpii structurii halelor sau de contravîntuirile longitudinale orizontale, nu sînt necesare contravîntuiri în plan vertical pentru șarpanta pereților.

În numeroase cazuri pereții laterali sînt așezați la o oarecare distanță de stîlpii structurii halei; apare necesar să se prevadă unele măsuri care să asigure stabilitatea scheletului pereților în sens longitudinal; datorită acțiunii vîntului cu o direcție înclinată față de planul pereților și frecărilor aerului în mișcare de pereți, apar unele componente în planul pereților (fig. XII.13).

Un mod de rezolvare constă în a se prevedea o legătură printr-o contravîntuire orizontală, care se așază la nivelul unei rigle care leagă stîlpii pereților, între această riglă și contravîntuirea verticală a stîlpilor halelor; o altă soluție constă în a prevedea o contravîntuire verticală între doi stîlpi ai șarpantei pereților care se leagă de contravîntuirea longitudinală a halei, astfel încît să poată transmite acesteia forțele dezvoltate în lungul pereților (fig. XII.14,*a* și *b*).

Contravîntuirile pereților pot lipsi în cazurile în care pereții sînt alcătuiți astfel încît pot lua solicitările dezvoltate în lungul lor.

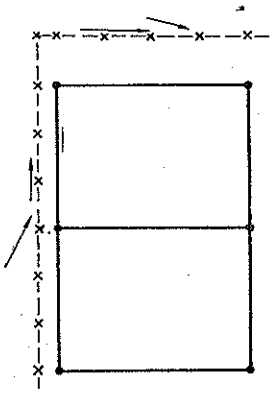


Fig. XII.13. Pereți așezați la distanță.

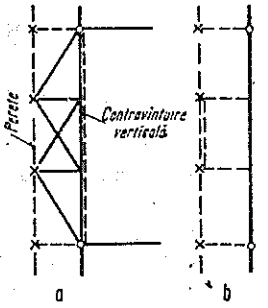


Fig. XII.14. Contravîntuiri la pereți.

b. Contravîntuirile frontoanelor

Frontoanele așezate în planul cadrului de capăt al halei nu necesită contravîntuiri proprii; sînt necesare numai rigle orizontale legate de stîlpii halei care susțin elementele pereților și limitează lungimile de flambaj ale stîlpilor în planul frontonului (fig. XII.15).

Frontoanele se așază în multe cazuri la o distanță de cadrul de capăt (în general 3 m); în acest caz este necesar să fie prevăzute și contravîntuiri verticale, ca de exemplu conform fig. XII.16. Este recomandabil să se facă și o legătură între rigla superioară a frontonului și contravîntuirea transversală de capăt a halei, cum se arată în fig. XII.16,*b*.

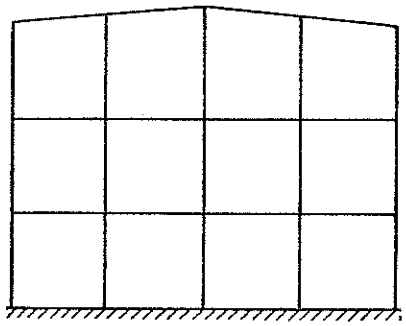


Fig. XII.15. Fronton în planul cadrului de capăt.

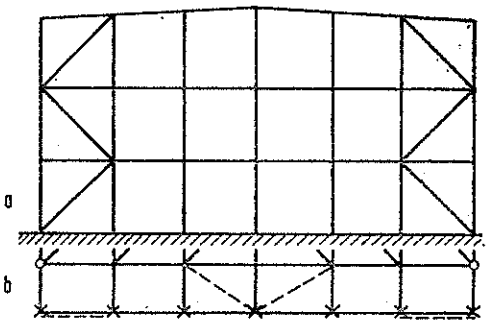


Fig. XII.16. Fronton la distanță de cadrul de capăt.

5. Calculul elementelor pereților și contravîntuirilor

a. Elementele pereților

Elementele pereților, susținute de șarpanta metalică, cum sînt tablele ondulate, plăcile ondulate de azbociment și plăcile de beton armat, trebuie să suporte presiunea vîntului pe pereți și să o transmită riglelor care le susțin.

Riglele orizontale la pereți din elemente care nu se susțin singure (tablă ondulată, azbociment ondulat) se dimensionează la încărcarea dată de greutatea pereților și la presiunea vîntului. Încărcările orizontale date de vînt pot trece la rigă din jumătățile deschiderilor alăturate, total sau parțial (fig. XII.17). Aceasta depinde de alcătuirea pereților și de raportul dintre

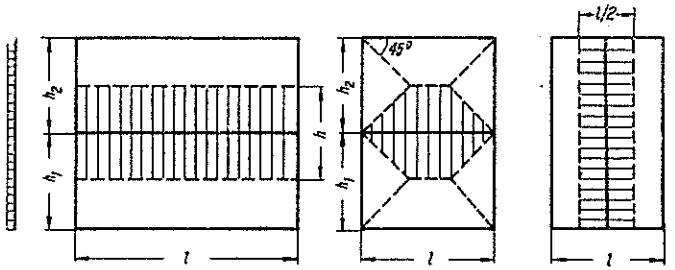


Fig. XII.17. Solicitările grinzilor și stîlpilor.

deschiderea riglei și distanța dintre rigle; cînd pereții sînt astfel alcătuiți încît nu pot rezema decît pe rigle, încărcarea se transmite numai la rigle; dacă elementele pereților reazemă pe toate laturile, transmiterea se face și la stîlpi, cînd raportul $l/h \approx 1$. Pentru calculul riglei se poate lua o încărcare echivalentă uniform distribuită pe riglă. Elementele pereților care reazemă pe stîlpi sau rigle verticale transmit presiunea vîntului numai la acestea.

Riglele orizontale care se află deasupra golurilor, în afară de încărcarea orizontală, au de suportat și încărcările vetricale. Pereții formați din elemente slab legate între ele pe verticală, cum sînt plăcile de azbociment, transmit riglelor orizontale toată greutatea lor. Unele grinzi pot primi încărcarea excentric; în acest caz, grinda este supusă și la răsucire; se recomandă ca efectul de răsucire să fie cît mai mic. Dacă nu se poate evita răsucirea, secțiunea riglelor va avea o formă corespunzătoare, iar la reazeme riglele vor fi prinse ținînd seama de efectul de răsucire.

Stîlpii intermediari și stîlpii cadrelor primesc încărcări după modul de alcătuire a pereților: încărcări uniform distribuite, concentrate, în dreptul riglelor orizontale sau uniforme și concentrate. Săgeata elementelor metalice ale șarpantei pereților nu va fi mai mare decît 1/300 din deschiderea lor.

b. Calculul contravîntuirilor pereților laterali și ai frontoanelor

Contravîntuirile șarpantei pereților sînt supuse la unele acțiuni care provin din frecarea curenților de aer longitudinal halei, la unele acțiuni din variația de temperatură, la forțe seismice. Șarpanta pereților este necesar să prezinte o suficientă rigiditate longitudinală; dacă nu este asigurată prin construcția pereților, se iau alte măsuri constructive, ca cele analizate mai înainte.

Legătura din fig. XII.14,*a* trebuie să asigure fixarea întregului perete între două rosturi ale halei; verificarea acestei legături se face la acțiunile menționate mai înainte.

Variația de temperatură suportată de pereți este mai mare decît cea din interiorul halei. Adoptată o asemenea legătură, este necesar să fie dimensionată pentru a suporta efectele diferențelor de temperatură dintre elementele pereților și structura metalică a halei; orientativ se poate aprecia, în lipsă de alte date, o diferență de 10 la 15°C.

În cazul soluției din fig. XII.14, *b*, contravîntuirea verticală din șarpanta pereților este supusă aceleiași acțiuni. În cazul cînd contravîntuirea este fixată elastic, pentru sensul longitudinal contravîntuirea este o grindă verticală, încastrată jos și liberă sus. Cînd legătura la partea superioară este rigidă, împiedicînd deplasările longitudinale, contravîntuirea se poate considera simplu rezemată sus; legătura la partea superioară se verifică la forțele pe care trebuie să le transmită contravîntuirii longitudinale a halei.

Contravîntuirile șarpantei pereților din frontoane se verifică la acțiuni care sînt asemănătoare celor de la pereții laterali.

Legătura în plan la nivelul contravîntuirii transversale a acoperișului (fig. XII.16,*b*) se verifică la forțele ce revin din calculul contravîntuirilor verticale ale șarpantei pereților frontonului, considerate încastrate jos și simplu rezemate sus.

XIII. Grinzi pentru căile mijloacelor de ridicare și transport

1. Căi pentru cărucioare și pentru grinzi rulante

a. Alcătuire

Sistemele de transport care au căile de rulare suspendate de șarpanta acoperișului sînt folosite din ce în ce mai mult în industrie, datorită elasticității și capacității mari de transport. Se folosesc cărucioare rulante electrice sau sisteme de cărucioare, așezate la distanțe fixe și acționate în grup prin lanțuri sau cabluri. Un alt sistem îl constituie grinzile rulante suspendate. Calea cărucioarelor rulante se alcătuiește din profile dublu T laminate; cărucioarele circulă pe talpa inferioară a acestor profile și mai rar pe talpa superioară. Se pot folosi și profile speciale sau căi alcătuite din corniere ori

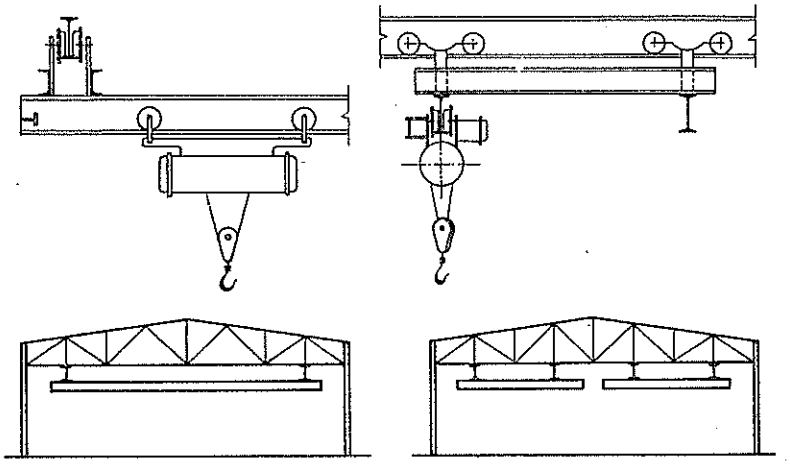


Fig. XIII.1. Așezarea grinzilor rulante.

platbande suspendate. Calea suspendată de șarpanta acoperișului poate avea curbe și ramificații; curbele pot avea raze mici (2—3 m). Căile sînt așezate în lungul halei sau transversal.

Pentru grinzile rulante, căile de rulare au aceeași alcătuire ca și pentru cărucioare; în aceeași deschidere pot fi una sau două grinzi rulante (fig. XIII.1). Grinzile căilor se prind de tălpile inferioare ale fermelor direct sau cu tiranți, așezați la distanțe convenabile (fig. XIII.2). Grinzile căilor se înnădesc prin sudură în adîncime sau cu eclise așezate pe tălpi, la exterior. În cazul cînd distanțele între ferme sînt mari, se prevăd grinzi longitudinale, de care apoi se suspendă căile. Se prevăd contravîntuiri verticale din distanță în distanță (max. 40 m).

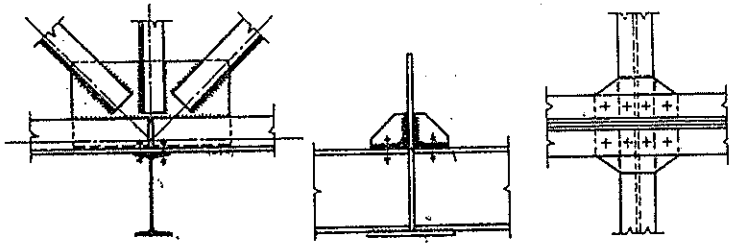


Fig. XIII.2. Prinderea grinzilor căilor de rulare.

b. Calculul grinzilor căilor de rulare

Calculul se face la convoiul mobil de încărcări verticale (fig. XIII.3). Încărcarea utilă Q încarcă egal cele patru roți ale unui cărucior, deci $P = (Q + q)/4$, unde q este greutatea căruciorului. Grinda căii de rulare poate fi simplu rezemată pe o deschidere sau continuă pe două sau pe mai multe deschideri, reazemele putînd căpăta unele denivelări. Pentru simplificare, cînd rigiditatea grinzilor căilor este mică, denivelările se pot considera egale cu săgețile fermelor sub încărcările pe care le dau cărucioarele în pozițiile în care se determină momentele pe grinzile căilor de rulare; pentru determinarea încărcării fermelor grinzilor se consideră simplu rezemate. La calculul grinzilor căilor pe care circulă grinzile rulante trebuie să se țină seama și de forța transversală F, provenită din frînarea căruciorului pe grinda rulantă, care dă o încovoiere laterală și un efect de răsucire. Talpa profilului pe care circulă roțile căruciorului se verifică la încovoiere; se admite că din talpa profilului este antrenată la încovoiere o lungime $2c$, c fiind distanța de la punctul de aplicare a forței dată de o roată pînă la începutul racordării tălpii cu inima. Rezultă $M = Pc$ și $W = cl^2/3$. La prinderea grinzilor căilor de rulare de ferme se ține seama și de forțele transversale căii.

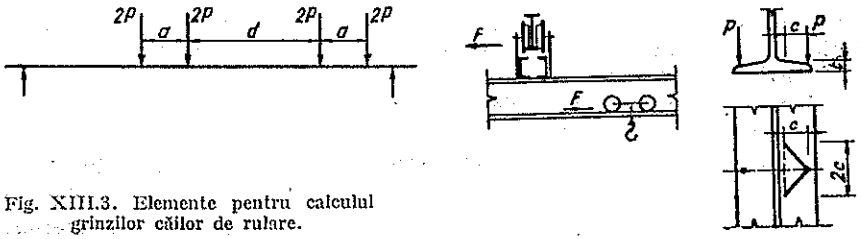


Fig. XIII.3. Elemente pentru calculul grinzilor căilor de rulare.

2. Grinzile căilor podurilor rulante

a. Grinzi cu inimă plină

Pentru deschideri mici și poduri rulante ușoare, grinzile pot fi din *profile laminate*. Se utilizează un profil dublu T, întărit eventual la talpa superioară cu o platbandă sau cu corniere sudate de talpă. Deși sînt foarte economice, utilizarea acestor grinzi este mult limitată din cauză că la noi nu se laminează profile dublu T mai înalte decît 400 mm. S-ar putea folosi grinzi din profile laminate, întărite cu un tirant (grinzi macaz) care, de asemenea, sînt economice (fig. XIII.4). Aceste grinzi oscilează însă lateral sub încărcări care se deplasează cu viteză mare. Eforturile alternante, care apar în diferite secțiuni, duc repede la obosirea materialului. Folosirea lor trebuie limitată la poduri rulante cu încărcări mici și cu viteze reduse.

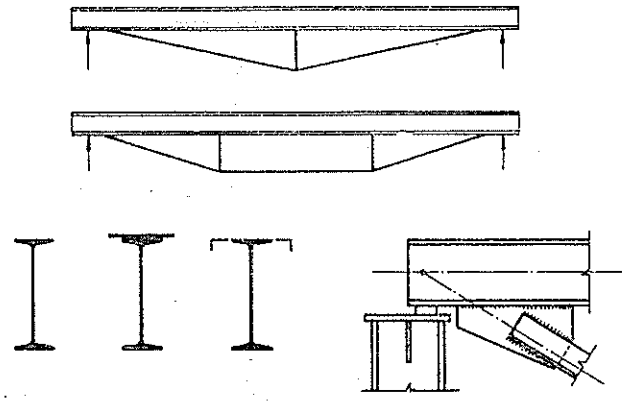


Fig. XIII.4. Grinzi din profile laminate.

Grinzile cu inimă plină sînt cel mai mult utilizate. Se folosesc îndeosebi grinzile sudate, care sînt mai economice decît cele nituite. Este recomandabil ca tălpile să se facă dintr-o singură platbandă. Grosimea inimii se recomandă să nu fie mai mică decît 6 mm; ea crește cu înălțimea inimii, fiind indicat să se ia $t \geqslant 8$ mm pentru $h = 1\,000$ mm, $t \geqslant 10$ mm pentru $h = 1\,500$ mm, iar pentru $h \geqslant 2\,000$ mm, grosimea inimii nu va cobori sub 14 mm. Grosimea tălpilor se ia mai mare decît 10 mm, obișnuit pînă la 30 mm; la grosimi mai mari apar influențe defavorabile, provocate de sudura dintre talpă și inimă. Cînd este necesar să se folosească grosimi mai mari, trebuie să se adopte o tehnologie de sudare foarte îngrijită. Grosimi peste 35 mm nu se recomandă deoarece structura tablelor nu mai rezultă uniformă pe grosime. Există tendința de a se mări această limită, îndeosebi la oțelurile care au calități superioare, datorită și tehnologiilor de laminare îmbunătățite. Grosimea tălpilor nu trebuie să fie mai mare decît de trei ori grosimea inimii. Secțiunea fiecărei tălpi se ia între 0,2 și 0,3 din suprafața secțiunii grinzii întregi. Cînd nu se folosesc pentru luarea forțelor orizontale grinzi speciale orizontale, se mărește rigiditatea transversală a tălpii superioare. Sporirea rigidității prin lățirea tălpii este însă limitată de pierderea stabilității prin ondularea marginilor tălpii și de distribuția neuniformă a eforturilor în secțiunea tălpii; se poate spori rigiditatea tălpii superioare și prin adăugarea unor corniere pe marginile tălpii. Se ajunge astfel la grinzi cu secțiuni nesimetrice (fig. XIII.5).

Sudurile dintre inimă și talpă sînt uneori mult solicitate: în aceste cazuri se recurge la diferite măsuri, cum ar fi introducerea lîngă talpa superioară a unor fîșii de tablă mai groase decît inima.

Sudarea inimii de talpa superioară este recomandabil să se facă, în cazul inimilor cu grosimi mai mari decît 14 mm, cu cordoane de sudură în K. Este

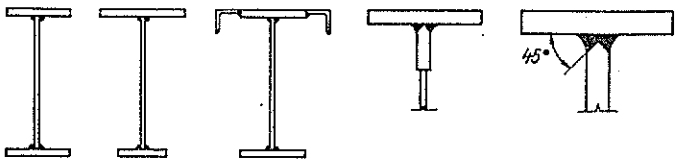


Fig. XIII.5. Secțiunile grinzilor cu inimă plină sudate.

preferabil ca sudurile să se execute automat sau semiautomat ; nu este indicată folosirea sudurilor întrerupte.

Sudarea inimilor de tălpi impune respectarea unor măsuri, în scopul eliminării unor defecte, care pot face grinda neutilizabilă, pentru a se evita remedieri uneori foarte costisitoare.

Unul din defectele frecvente și supărătoare îl constituie înclinarea tălpii pe porțiunea din lățimea tălpii situată în afara inimii (fig. XIII.6). Această abatere peste limita admisă conduce la o așezare defectuoasă a șinii căii de rulare pe talpa superioară, care nu mai reazemă corect și pe lățimea necesară ; normele de execuție limitează spațiul ce poate fi admis la marginea șinei la cel mult 0,005 b. Înclinarea tălpii inferioare produce dificultăți la așezarea grinzii pe reazeme ; după normele de execuție, înclinarea tălpii este limitată astfel ca distanța la margine să fie cel mult egală cu 0,05 c ($\Delta \leqslant 0{,}05\ c$).

Aceste defecte sînt produse de contracțiile sudurilor de colț și mai ales în K, care leagă inima de talpă ; pentru reducerea în limite admisibile a acestui defect este necesară aplicarea unei tehnologii corespunzătoare sau luarea unor măsuri la executarea grinzilor care să împiedice deformarea tălpilor.

La executarea grinzilor pot apărea și alte defecte care să împiedice executarea corectă a înnădirilor de montaj și a așezării grinzilor pe reazeme (fig. XIII.7).

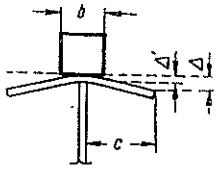


Fig. XIII.6. Defecte de înclinare la tălpi.

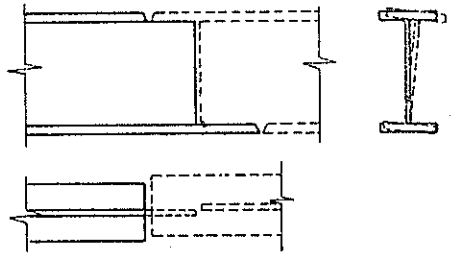


Fig. XIII.7. Defecte la înnădirile de montaj.

Unele abateri constau în diferențe de înălțime ale inimilor celor două porțiuni de grindă care se înnădesc, în înclinarea tălpilor față de inimă diferită la cele două capete, în devieri laterale ale elementelor secțiunii față de planul vertical al grinzii etc.

Aceste abateri provin din nerespectarea în măsură necesară a tehnologiei de execuție.

Remedierea unora din aceste defecte este complicată și se face cu cheltuieli mari ; în unele situații se poate ajunge la rebutarea unora dintre grinzi.

Grinzi cu inimă plină nituite se folosesc astăzi rar. Tălpile grinzilor nituite se fac din una sau din mai multe platbande, cu grosimi de 10—20 mm fiecare ; nu este indicat să se folosească mai mult decît trei platbande.

Secțiunea cornierelor tălpilor se alege în funcție de mărimea secțiunii tălpii, fiind de obicei 0,3 din secțiunea tălpii. La talpa superioară pot rezulta multe nituri de gît. Numărul lor se poate reduce îngroșind inima în zona cornierelor de legătură ; uneori se ridică fața inimii peste muchiile cornierelor cu 0,5—1 mm și se prelucrează, pentru ca o parte din încărcarea aplicată pe talpă (pînă la 60%) să treacă direct la inimă. Alteori se pun între corniere și inimă plăci longitudinale, mai late decît tălpile cornierelor (fig. XIII.8).

Înnădirea grinzilor cu inimă plină sudate se face după regulile cunoscute, cu unele măsuri impuse de condițiile în care lucrează grinzile căilor podurilor rulante. Înnădirile executate în atelier nu pun probleme deosebite dacă se respectă anumite reguli și se aplică o tehnologie de execuție corectă. La grinzile sudate tălpile se înnădesc cap la cap cu sudură în adîncime dispusă normal pe axa elementului ; de asemenea, inima, cînd este formată din mai multe elemente, se asamblează prin sudură în adîncime. Înnădirile acestor elemente se execută înainte de a se asambla grinda. Dacă grosimea tălpilor este mare, se impune sudarea în X, care se poate aplica începînd de la grosimea $t = 14$ mm ; sudurile se polizează la fața platbandelor. La marginile platbandelor, sudurile se prelungesc pe piese de adaos și se polizează. La piese cu grosimi diferite racordarea se poate face prin sudură, dacă diferența de grosime este mai mică decît 3 mm ; la diferențe mai mari, racordarea se face pe piesă. Cînd la o înnădire se întîlnesc platbande de lățimi diferite, piesa mai lată se racordează prin tăieturi cu înclinări mai mici decît 1/4.

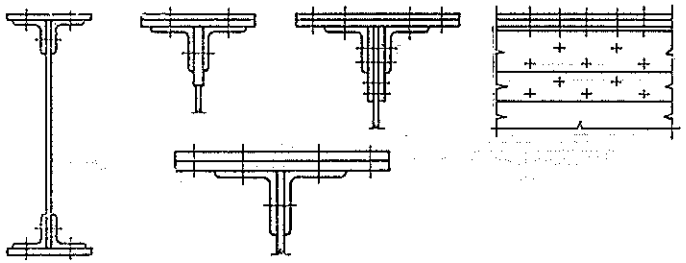


Fig. XIII.8. Secțiunile grinzilor nituite.

Marginile libere ale tălpilor întinse trebuie să fie uniforme; dacă piesele sînt tăiate din table cu flacără, această operație trebuie făcută la mașini automate.

La înnădirea grinzilor nituite nu apar probleme deosebite decît la talpa superioară, unde nu se pot așeza eclise pe fața de sus și unde platbandele nu se pot opri pe lungimea grinzii, chiar dacă nu mai sînt necesare. Înnădirea platbandelor se face în locuri în care momentele sînt mici, cu eclise așezate numai sub talpă; talpa inferioară se înnădește obișnuit. *Înnădirile de șantier* se fac prin sudare sau nituire, urmărindu-se o decalare a rosturilor tălpilor și inimii. Dacă înnădirea se face într-o secțiune în care se modifică grosimea tălpilor, rosturile pot fi în aceeași secțiune (fig. XIII.9). Înnădirile de montaj cu șuruburi de înaltă rezistență sînt preferate în locul celor sudate sau nituite.

Rigidizarea grinzilor cu inimă plină se face cu rigidizări transversale sau cu rigidizări transversale și longitudinale. Distanța între rigidizări se poate lua pînă la 2,5 h cînd h/t este mai mic decît 100 și maximum 2 h cînd h/t depășește 100. În zonele cu eforturi unitare normale mari este indicat să se prevadă și rigidizări longitudinale. La grinzile simplu rezemate pe o deschidere sudate, rigidizările de pe reazem se pot așeza în capul grinzilor,

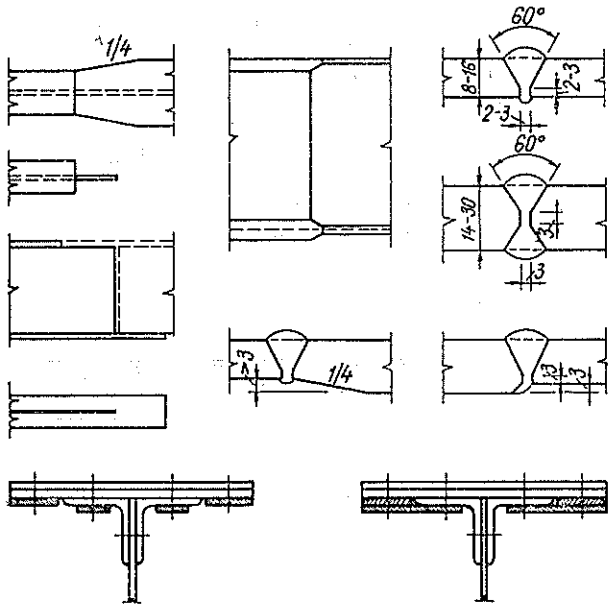


Fig. XIII.9. Înnădiri.

rezemarea grinzii făcîndu-se pe fața inferioară a rigidizării, care se prelucrează. Rigidizările de pe grindă se fac din platbande, iar la grinzile mari se fac din corniere. Rigidizările se sudează numai de inimă și de talpa comprimată și se opresc la 50—60 mm de talpă. Dacă este necesar, pentru o mai bună asigurare a legăturii tălpii cu inima, rigidizările transversale se duc pînă aproape de talpa întinsă și se introduc pene, care se sudează numai la rigidizare. Sudura dintre rigidizare și inimă se oprește la aproximativ 0,10 h, adică acolo unde efortul unitar în inimă din încovoiere este cel mult 0,8 din efortul admis. Cînd rigidizările transversale sînt din corniere, aripile cornierelor, dispuse paralel cu inima, pot fi sudate de talpa întinsă. La rigidizările de pe reazem, așezate pe inima grinzii, se introduc, între capătul rigidizărilor și talpa inferioară, plăci care se sudează (fig. XIII.10).

În cazurile cînd podurile rulante transmit presiuni mari prin roți, poate să fie necesară folosirea unor rigidizări scurte care se așază pe inimă la talpa superioară pe o înălțime egală cu 0,3 h. Rigidizările scurte introduc, la grinzile sudate, perturbări și eforturi suplimentare și de aceea folosirea lor este bine să fie evitată. Cînd se folosesc totuși astfel de rigidizări, se recomandă ca prinderea lor să se facă cu suduri cu grosime minimă ($a = 3...4$ mm). Rigidizările longitudinale se așază în zona comprimată la 0,3—0,4 din înălțimea inimii și se întrerup în dreptul rigidizărilor transversale. Este rațională folosirea rigidizărilor scurte în zona comprimată, așezate între talpă și rigidizarea longitudinală. La grinzile nituite rigidizările se fac din corniere, cîte una sau cîte două pe fiecare parte, așezate pe fururi și ajustate

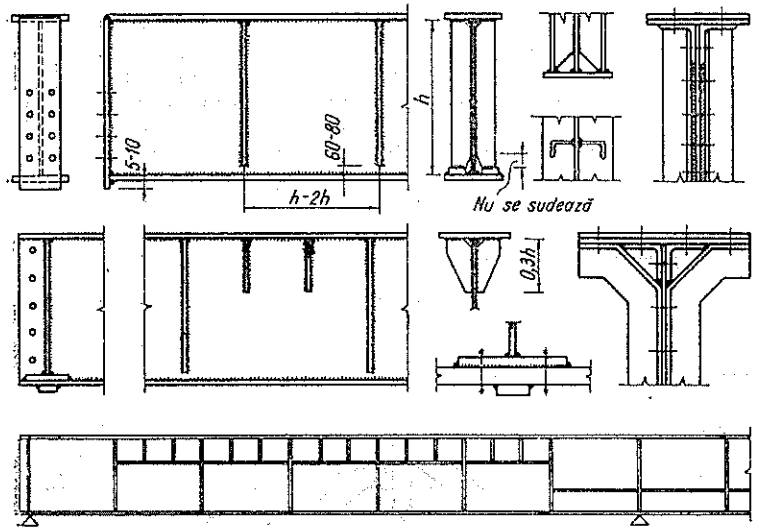


Fig. XIII.10. Rigidizări.

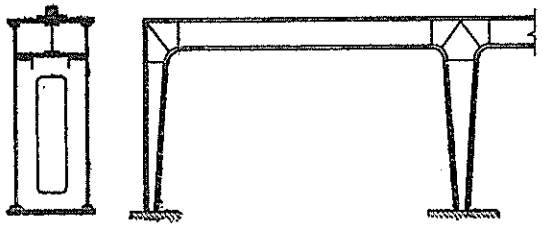


Fig. XIII.11. Grinzi cu perete dublu.

la talpa superioară; cînd tălpile sînt late, cornierele rigidizărilor se pot îndoi și prinde de talpă.

Grinzile cu inimă plină cu perete dublu se fac pentru deschideri mari și pentru poduri rulante foarte grele; înălțimea grinzilor cu perete simplu ar rezulta foarte mare în asemenea situații. Șina căii de rulare se așază în axa grinzii, pe talpă, care este întărită fie numai cu inimi verticale transversale, fie cu un profil dublu T, așezat longitudinal. Rigidizarea inimilor este asigurată prin diafragme și prin rigidizări longitudinale, care pot fi prevăzute numai la interior. Diafragmele au goluri, care fac posibilă vizitarea interiorului. Grinzile cu perete dublu pot fi legate rigid de stîlpii pe care sînt așezate, alcătuind împreună cu aceștia cadre longitudinale (fig. XIII.11).

b. Grinzi cu zăbrele

Grinzile cu zăbrele se folosesc la deschideri mari, unde sînt mai economice decît grinzile cu inimă plină, dacă podurile rulante nu sînt foarte grele; înălțimea lor este însă mai mare decît a grinzilor cu inimă plină, ceea ce constituie un dezavantaj; de asemenea, execuția grinzilor cu zăbrele este mai complicată. Caracteristic la aceste grinzi este faptul că talpa superioară pe care este așezată calea de rulare, este supusă și la încovoiere, care la podurile grele devine importantă. Secțiunea tălpii comprimate se adoptă în consecință: un profil laminat dublu T, întărit eventual cu o platbandă la talpa superioară, două profile U cu platbandă sus, alipite sau depărtate, după cum impune mărimea eforturilor și rigiditatea transversală (fig.XIII.12). La

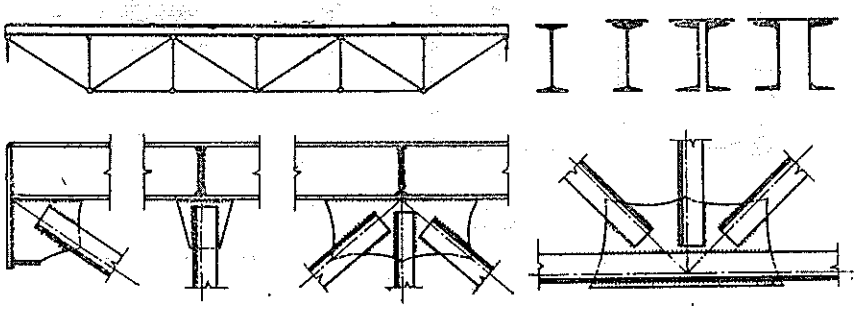


Fig. XIII.12. Grinzi cu zăbrele.

astfel de grinzi se manifestă fenomenul de oboseală, de care se va ține seamă la dimensionare. Gusecle se racordează prin tăieturi curbe și se prind de talpă cu suduri în K pe toată grosimea lor. Fața sudurilor se polizează urmărindu-se reducerea concentrărilor de eforturi. Nu este recomandabilă folosirea grinzilor cu zăbrele în halele cu regim de lucru foarte greu și foarte greu continuu.

3. Grinzi de frînare

a. Generalități

Grinzi pentru căile podurilor rulante, care să suporte singure forțele orizontale transversale lor, date de podurile rulante, se fac mai rar și numai pentru încărcări reduse și deschideri mici. La astfel de grinzi apar efecte de răsucire importante. De regulă, pentru luarea acestor forțe se prevăd grinzi orizontale, așezate la nivelul căii, numite *grinzi de frînare*. Acestea mai au rolul de a rigidiza grinda căii podurilor rulante în sens transversal și servesc și ca pasarele pentru accesul oamenilor. Se fac din grinzi cu inimă plină sau din grinzi cu zăbrele; în cazul halelor cu regim de lucru greu și foarte greu este recomandabilă folosirea grinzilor de frînare cu inimă plină. La căile de margine ale halelor, grinda de frînare se dezvoltă între talpa superioară a grinzii de rulare și peretele halei; una dintre tălpile grinzii de frînare este talpa superioară a grinzii căii de rulare; cealaltă grindă se face dintr-un profil U. Pe șirurile interioare de stîlpi, dacă în deschiderile vecine se află căi pentru poduri rulante la același nivel, tălpile grinzilor de frînare sînt formate de tălpile superioare ale grinzilor podurilor rulante, din deschiderile alăturate.

b. Grinzi de frînare cu inimă plină

Grinzile de frînare cu inimă plină au inima din tablă striată de 5—8 mm, după înălțimea grinzii de frînare, întărită pe dedesubt cu nervuri de oțel lat (fig. XIII.13). La înnădirile transversale ale tablei se prevăd corniere, care servesc și ca eclise de înnădire. Tabla striată se prinde de profilul U și de talpa grinzii căii de rulare prin suduri continue. Pentru deschideri pînă la 6 m se admite ca talpa exterioară să fie alcătuită dintr-un profil U; la deschideri mai mari se poate prinde de stîlpii intermediari. Cînd deschiderile sînt mari, grinda exterioară se face cu zăbrele. Grinzile de frînare de pe șirurile interioare de stîlpi se alcătuiesc asemănător. Cînd există treceri prin inima stîlpilor, se utilizează uneori piese din tablă striată îndoită sau întă-

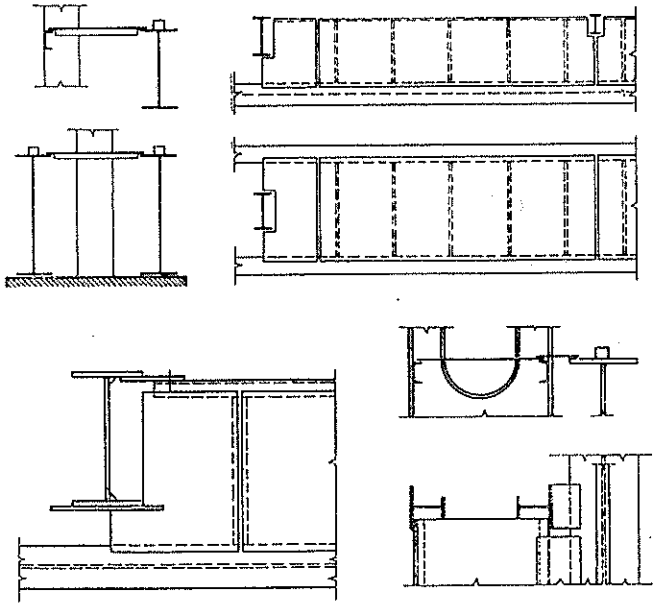


Fig. XIII.13. Grinzi de frînare cu inimă plină.

rită cu două profile U mici, care servesc drept grindă între doi stîlpi ; această grindă și talpa superioară a grinzii podului rulant se leagă cu o fișie de tablă striată sudată continuu, alcătuindu-se astfel și grinda de frînare.

c. Grinzi de frînare cu zăbrele

Grinzile de frînare cu zăbrele au de obicei zăbrelele în sistem triunghiular cu montanți suplimentari. Zăbrelele (montanți și diagonale) se alcătuiesc de obicei dintr-o cornieră cu aripile transversale în jos, pentru a se crea o suprafață de rezemare pentru pardoseala pasarelei. Zăbrelele se prind de tălpi cu gusee (fig. XIII.14). Diagonala de reazem pleacă de la nodul de pe grinda podului rulant. Pentru a se ușura montajul, grinzile cu zăbrele de margine se execută complet și în locul tălpii se prevede o cornieră de montaj prinsă cu șuruburi. Peste grinda de frînare cu zăbrele se așază o pardoseală din tablă striată de 5—6 mm grosime sau din tablă cu găuri, care se prinde de tălpi prin suduri continue, iar de diagonale și de montanți prin suduri în găuri.

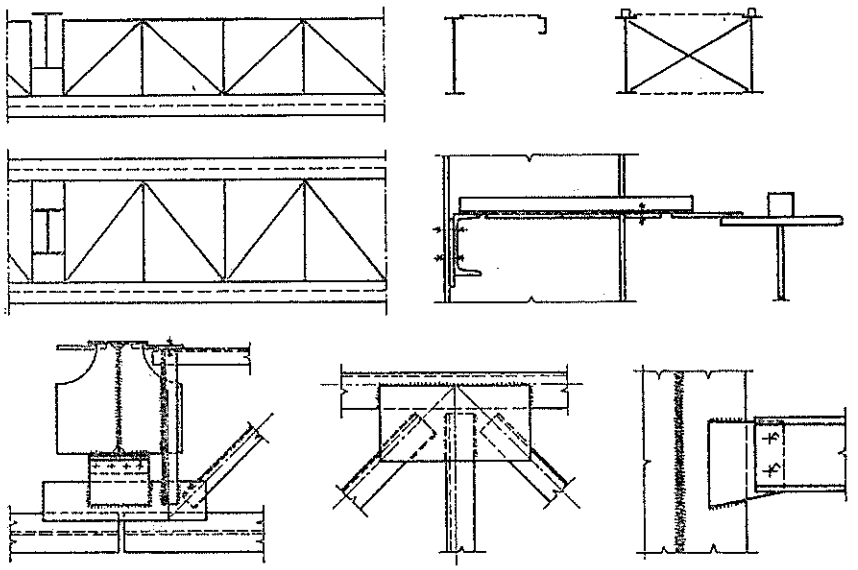


Fig. XIII.14. Grinzi de frînare cu zăbrele.

Grinzile căilor podurilor rulante, legate orizontal la talpa superioară prin grinda de frînare, se solidarizează uneori între ele și cu contravîntuiri verticale ; acestea se așază la mijlocul deschiderilor, la grinzi de deschidere mică și la treimi la grinzile cu deschidere mai mare (fig. XIII.15). Aceste contravîntuiri se alcătuiesc din diagonale încrucișate sau în K, dacă înălțimea este mică ; la grinzile cu zăbrele cle se prind cu gusee de rigidizările verticale sau de montanți. Aceleași legături verticale se prevăd și la grinzile de margine cînd talpa grinzii de frînare este susținută de o grindă cu zăbrele. La deschideri mari (peste 12 m) se mai așază o grindă cu zăbrele orizontală și la nivelul tălpilor inferioare ; în acest fel se asigură sistemului o rigidizare spațială mai bună.

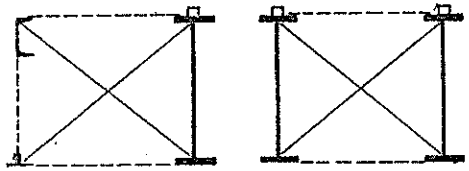


Fig. XIII.15. Contravîntuiri verticale.

4. Așezarea și prinderea grinzilor

a. Așezarea grinzilor

Grinzile căilor podurilor rulante pot fi așezate pe consolele stîlpilor, pe stîlpi, care se lățesc la nivelul tălpii inferioare a grinzii, sau pot fi așezate pe console susținute de grinzile longitudinale ale halelor. Pe console se așază numai grinzile podurilor rulante de capacitate mică (5—20 t). La așezarea grinzilor căilor podurilor rulante se pun o serie de probleme de așezare, de prindere și de înnădire (fig. XIII.16).

Grinzile simplu rezemate pe o deschidere, deschiderile fiind mici, pot rezema pe capul rigidizărilor de capăt; cele două grinzi din deschideri vecine se prind cu șuruburi de capul stîlpului. Pentru ușurință de montaj, găurile în talpă și în placa stîlpului sînt ceva mai mari decît diametrul șurubului. Sub capul și sub piulița șurubului se pun plăcuțe. Pe o parte din înălțimea lor grinzile se prind, una în prelungirea alteia, cu șuruburi pentru o bună solidarizare (fig. XIII.17). Rezemarea prin plăcile de rigidizare de capăt are avantajul că centrează rezemarea în axa stîlpului; are însă dezavantajul că transmiterea întregii reacțiuni se face numai prin suduri, care, dacă nu sînt foarte bine executate, se pot comporta nesatisfăcător sub acțiunea solicitărilor dinamice. Rezemarea pe stîlp se poate face prin plăcuțe așezate sub talpa grinzii; rigidizările dinspre capete se retrag și cele două grinzi se solidarizează printr-o prindere cu eclise așezate pe jumătatea inferioară a inimii, care au găuri mai mari decît diametrul șurubului cu 2—3 mm. Rezemarea fiecărei grinzi în parte se face la o mică distanță de axa stîlpului; la încărcări numai pe o deschidere se transmit stîlpului forțe excentrice, care nu sînt prea mari. Grinzile continue reazemă pe plăcuțe centrate în axa stîlpului.

Pentru a se evita ca transmiterea forțelor orizontale longitudinale căii de la grindă la stîlp să se facă numai prin șuruburi și frecare, se așază, atunci

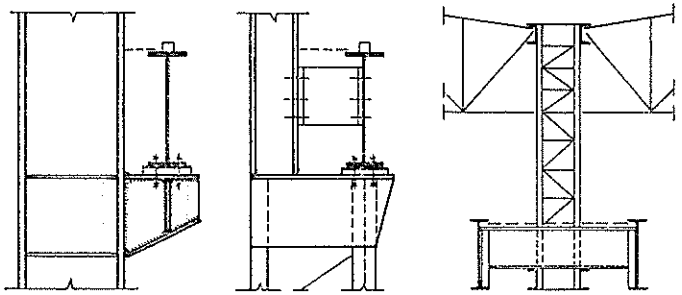


Fig. XIII.16. Așezarea grinzilor.

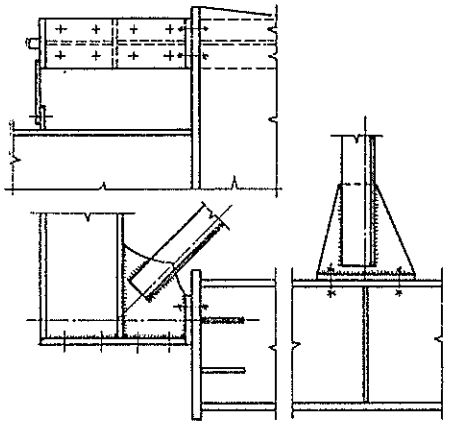


Fig. XIII.18. Așezarea grinzilor cu zăbrele.

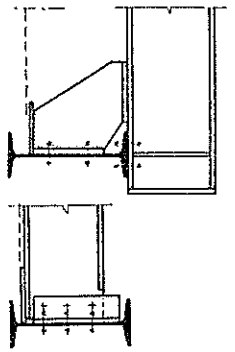


Fig. XIII.19. Așezarea și prinderea grinzilor pe consolele grinzilor longitudinale.

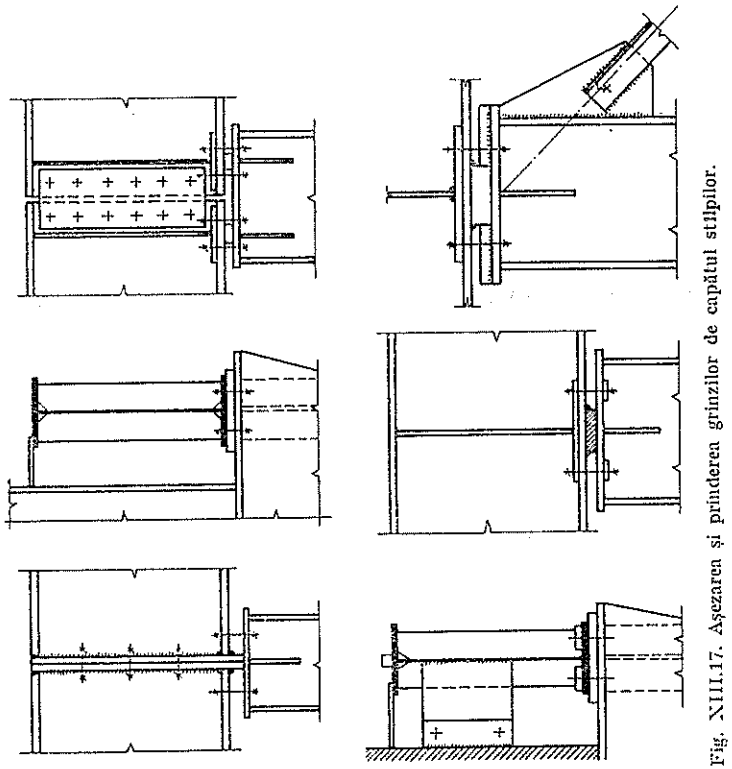


Fig. XIII.17. Așezarea și prinderea grinzilor de capătul stîlpilor.

cînd aceste forțe sînt mari, plăcuțe sudate de stîlp, de o parte și de alta a plăcii de reazem. Asemenea măsuri se iau în orice caz la reazemările pe stîlpii vecini portalelor de frînare, unde se cumulează forțe longitudinale mai mari.

Grinzile cu zăbrele reazemă pe capul stîlpilor, de obicei la talpa superioară, aici fiind nodul de la care pleacă și diagonala. Se amenajează în acest scop nodul de capăt pentru a se putea face rezemarea și prinderea dintre grinzi. Și aici se prevede o prindere laterală la talpa superioară, care rezultă din prinderea grinzii de frînare (fig. XIII.18).

Pentru a se evita balansurile laterale și pentru a se putea prevedea contravîntuiri orizontale și la talpa de jos, talpa inferioară se prelungește și se prinde de stîlp. Se face o prindere ușoară, cu oarecare jocuri, pentru a se lăsa grinzii cu zăbrele caracterul de grindă simplu rezemată pe o deschidere.

Grinzile căilor de rulare susținute de grinzi longitudinale reazemă pe console așezate la distanțe de 3—6 m la nodurile grinzilor cu zăbrele (fig. XIII.19). Rezemarea pe console, pentru a se cîștiga înălțime, se poate face printr-o prindere în capul consolei pe înălțimea inimii grinzii. O astfel de prindere prezintă dezavantajul că produce concentrări mari de eforturi în inima grinzii. Deoarece eforturile principale în inimă pot deveni periculoase, trebuie să se ia măsuri pentru întărirea locală a inimii și pentru evitarea ruperii prin obosirea materialului. O prindere mai bună a grinzii se poate face prin rezemarea ei pe console. La nivelul grinzilor căilor podurilor rulante se prevede o grindă de frînare, iar la partea superioară a grinzii longitudinale care suportă consolele, se prevăd contravîntuiri orizontale, care iau forțele orizontale și momentele care se dezvoltă din încărcări nesimetrice.

b. Prinderea grinzilor la talpa superioară și a grinzilor de frînare

Grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante și grinzile de frînare formează un ansamblu, talpa superioară a grinzilor verticale fiind și talpa grinzilor de frînare. Prinderile grinzilor de frînare și ale tălpilor superioare ale grinzilor verticale trebuie de aceea analizate împreună.

Grinzile de frînare cu inimă plină, pe șirurile stîlpilor de margine au în general o talpă dintr-un profil U; profilul U se prinde de talpa stîlpului prin intermediul unui guseu vertical prins de talpa stîlpului (fig. XIII.20, *a*). Tabla striată se taie astfel încît să treacă de talpa stîlpului spre grinda căii de rulare; pe inima stîlpului este indicat să se prevadă rigidizări transversale late, pe care să rezeme talpa striată; tabla striată se sudează de rigidizări. Peste tabla striată lîngă talpa stîlpului se așază o placă continuă, care se sudează de tabla striată și de stîlp; prin această placă se întărește colțul tablei striate care face legătura dintre talpa grinzii căii de rulare și stîlp.

În cazul cînd grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante sînt simplu rezemate pe deschidere, se așază pe tabla striată plăci separate, care reazemă pe talpa stîlpului, fără însă a fi sudate de stîlp (fig. XIII.20, *b*); tabla

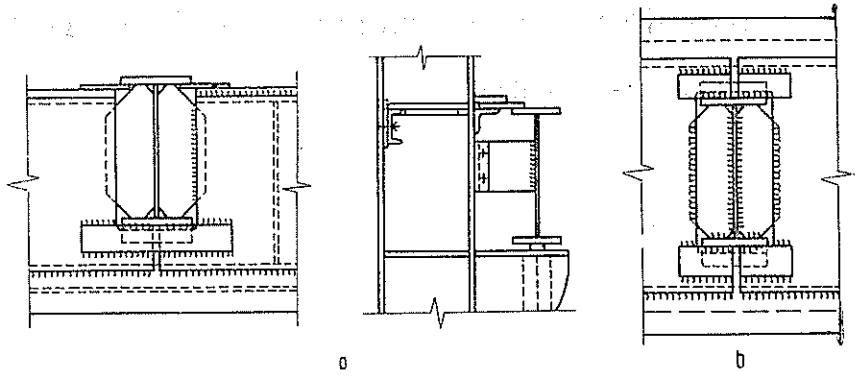


Fig. XIII.20. Prinderea tălpilor și grinzilor de frînare.

striată și plăcile sînt așezate pe o cornieră sudată de stîlp, de care se prind cu șuruburi, găurile în cornieră fiind cu 2—3 mm mai mari ca diametrul șurubului; în acest caz, tabla striată nu se sudează nici de rigidizarea stîlpului; profilul U se prinde de guseul fixat de stîlp cu șuruburi, brute, găurile fiind cu diametrul mai mare ca diametrul șurubului. Se urmărește să se realizeze o rezemare a tălpii grinzii verticale și a grinzii de frînare, care să transmită stîlpului forțele orizontale, fără însă a se realiza o prindere de continuitate, care ar avea tendința de a împiedica rotirea grinzii căii de rulare pe reazeme.

Rezemarea ansamblului grindă verticală și grindă de frînare pe stîlp este asigurată și prin plăci verticale, așezate spre partea superioară a înălțimii grinzilor și prinse de stîlp și de rigidizările grinzilor.

Prinderea grinzilor de frînare cu zăbrele se face prin intermediul guseului de reazem al grinzii cu zăbrele și prin montantul de capăt, care la grinzile continue se fixează și de rigidizarea stîlpului; o placă este prinsă de guseele grinzilor de frînare și de o cornieră sudată de stîlp. Profilul U pe șirurile de stîlpi marginali este prins de stîlp ca și la grinzile de frînare cu inimă plină (fig. XIII.21). La grinzile simplu rezemate se procedează ca la grinzile de frînare cu inimă plină.

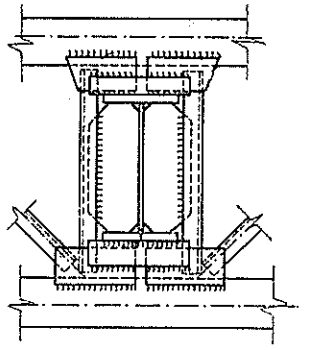


Fig. XIII.21. Prinderea de stîlpi în cazul grinzilor de frînare cu zăbrele.

5. Grinzile căilor pentru macarale în consolă

a. Alcătuire de ansamblu

O macara în consolă se deplasează pe un ansamblu de trei grinzi: una verticală și două dispuse orizontal (fig. XIII.22). Grinda verticală este supusă acțiunii date de greutatea proprie a căruciorului și a încărcării ridicată de macara; cele două grinzi orizontale primesc forțe orizontale rezultate din momentul care rezultă din alcătuirea macaralei în consolă.

În halele fără poduri rulante, grinzile căilor de rulare ale macaralelor sînt susținute pe console (fig. XIII.23, *a*) fixate de stîlpii halei; cînd stîlpii halei sînt la intervale de 6 m nu se pun probleme deosebite la alcătuirea acestor grinzi.

La distanțe mari se pot folosi grinzi cu zăbrele (fig. XIII.23, *b*).

În halele prevăzute cu poduri rulante și macarale în console, grinzile căilor de rulare ale macaralelor sînt susținute în același mod, adică numai de stîlpi. Dacă distanțele între stîlpi sînt mari, grinzile căilor de rulare ale macaralelor pot fi susținute și între stîlpi de grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante (fig. XIII.24); consolele care susțin în acest caz grinzile căilor de rulare ale macaralelor se așază la distanțe mici (3—6 m). Este indicat să se prevadă cîte o contravîntuire orizontală longitudinală la nivelul tălpilor inferioare ale grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante și la nivelul grinzilor orizontale inferioare ale căilor macaralelor; între tiranții care susțin grinzile căilor inferioare se prevăd contravîntuiri verticale.

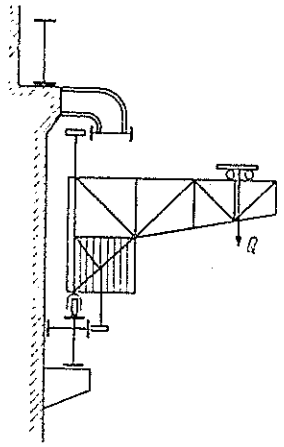


Fig. XIII.22. Grinzi pentru macarale în consolă.

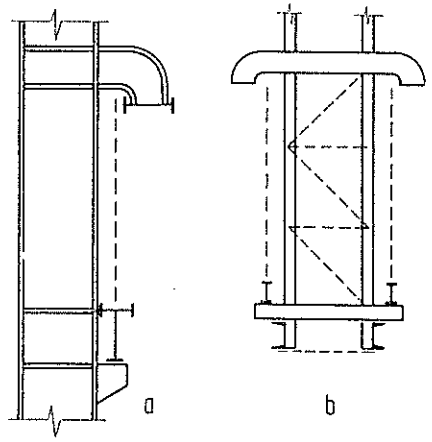


Fig. XIII.23. Susținerea grinzilor căilor macaralelor de stîlpi.

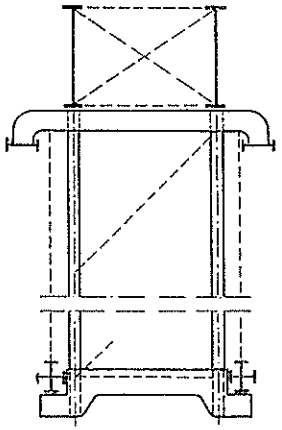


Fig. XIII.24. Susținerea grinzilor căilor macaralelor de grinzile căilor podurilor rulante.

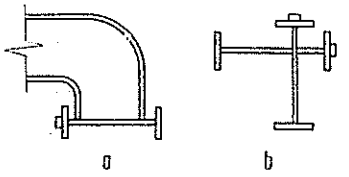


Fig. XIII.25. Alcătuirea grinzilor căilor de rulare.

b. Grinzile căilor de rulare

Grinda orizontală superioară a căii de rulare este o grindă cu inimă plină, fixată de o consolă prinsă de stîlp sau de grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante (fig. XIII.25, *a*). Grinda inferioară are o construcție specială (fig. XIII.25, *b*), fiind alcătuită dintr-o grindă cu inimă plină verticală care suportă calea pe care rulează căruciorul vertical al macaralei și o grindă orizontală pe care rulează roțile orizontale de jos ale macaralei, ambele grinzi fiind solidarizate între ele.

Grinda verticală de jos pe care sînt așezate căile de rulare este susținută pe o consolă a stîlpului, partea orizontală fiind rezemată și prinsă de stîlp; cînd există susțineri intermediare, grinda de jos este așezată pe grinzi, cum s-a arătat în fig. XIII.24.

Construcția și în special așezarea căilor de rulare a macaralelor trebuie făcută cu suficientă precizie; din cauza deformației grinzii verticale, distanța între șinele orizontale se poate modifica în timpul mișcării macaralei într-o măsură care să îngreuieze mersul macaralei. Este indicat sau să se renunțe la șina căii de rulare de la grinda orizontală superioară, folosindu-se roți cu bandaje, fără margini laterale, sau să se lase între șină și marginile bandajelor o distanță suficient de mare.

În cazul cînd grinzile de jos ale căilor de rulare sînt susținute de grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante, trebuie ținut seama că atunci cînd circulă un pod rulant sau o macara în consolă se pot produce deformații

și deplasări, care pot conduce la unele dificultăți în circulația podurilor rulante. Este necesar ca aceste deformații și deplasări să fie cît mai mici. Se obține o bună rezolvare dacă săgețile grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante se mențin la valori mici și dacă contravîntuirile orizontale dintre tiranți sînt suficient de rigide.

XIV. Calculul grinzilor căilor de rulare

1. Încărcările grinzilor

a. Forțe date de podurile rulante

Asupra grinzilor podurilor rulante se manifestă o serie de acțiuni rezultate din funcționarea podurilor rulante și care constau în forțe verticale, forțe orizontale transversale grinzilor și forțe longitudinale căilor de rulare.

Forțele verticale se transmit concentrat prin roțile cărucioarele de capăt ale podurilor rulante și constituie convoaie mobile. După poziția cărucioarelor, roțile de la cele două capete ale podurilor rulante se încarcă diferit, rezultînd pe o cale presiuni maxime și pe alta presiuni minime

$$P_{max} = \frac{1}{n}\left[\frac{G}{2} + \frac{Q+q}{l_p}(l_p - c)\right]; \quad P_{min} = \frac{1}{n}\left[\frac{G}{2} + \frac{Q+q}{l_p}c\right]. \quad \text{(XIV.1)}$$

Valorile normate ale încărcărilor podurilor rulante transmise prin roți sînt date în standardele pentru poduri rulante; pentru podurile necuprinse în standarde, valorile normate ale presiunilor pe roți vor fi date de furnizorul podului sau se stabilesc de proiectant pe baza proiectului podului rulant. Pentru dimensionarea grinzilor, coeficientul încărcării dată de podul rulant, conform normelor din țara noastră, este $n = 1{,}20$ și se aplică forțelor normate care se transmit prin roți.

Coeficienții dinamici, nefiind cuprinși în coeficienții n ai acțiunilor, se aplică separat; pentru podurile rulante de uz general, valorile acestor coeficienți sînt cele din tabelul XIV.1.

Tabelul XIV.1

Regimul de funcționare al podului rulant		Coeficientul dinamic pentru grinzile căilor de rulare
Regim ușor	0	1,10
Regim mediu	I	1,20
Regim greu	II	1,30
Regim foarte greu	III	1,40
Regim foarte greu continuu	IV	1,50

Forțele orizontale transversale provin în general din frînarea sau demararea cărucioarului și se consideră aplicate la nivelul feței superioare a șinei și acționează sub formă de convoaie mobile de forțe concentrate.

Valoarea forțelor transversale este

$$T = \frac{1}{20\,n}(Q + q) \text{ în cazul suspensiei elastice;} \quad \text{(XIV.2)}$$

$$T = \frac{1}{10\,n}(Q + q) \text{ în cazul suspensiei rigide,} \quad \text{(XIV.3)}$$

unde n este numărul roților podului rulant de pe o grindă a căii de rulare.

Valorilor normate ale acestor forțe pentru dimensionare li se aplică coeficienții de acțiune egali cu 1,3 și coeficienții dinamici α ale căror valori sînt date în tabelul XIV.2.

Tabelul XIV.2

Tipul suspensiei	Capacitatea nominală a podului în mii daN	Valorile coeficientului α pentru calculul:				
		Grinzilor de frînare și al tălpilor grinzilor căilor de rulare după regim				Prinderilor grinzilor căilor de rulare și frînare
		0	I	II	III și IV	
Elastică	5...10	1,50	1,80	2,20	2,50	2α
	11...20	1,30	1,50	1,80	2,00	
	21...125	1,20	1,30	1,40	1,50	
	126...225	1,00	1,10	1,20	1,30	
	226...350	1,00	1,00	1,10	1,10	
Rigidă	Orice capacitate	1,50				3,00

Poziția convoiului orizontal se admite că este aceea a convoiului de forțe verticale care dimensionează grinda căii de rulare.

Forțele orizontale longitudinale sînt produse de frînarea sau demararea podului rulant; se aplică la fața superioară a șinei căii de rulare. Valoarea forței longitudinale este

$$F = \frac{1}{10}P. \quad \text{(XIV.4)}$$

Forțele orizontale longitudinale se dezvoltă numai la roțile frînate. Aceste forțe se multiplică cu coeficientul acțiunilor 1,3.

Forțele produse de deplasarea oblică a podurilor rulante sînt forțe orizontale transversale căilor de rulare; valoarea acestor forțe, care servesc numai la verificarea prinderii șinei de grinda căii de rulare, se poate lua

$$T_s = P_{max}/5. \quad \text{(XIV.5)}$$

Valorile normate se multiplică prin coeficientul acțiunilor egal cu 1,3.

b. Grupările de acțiuni pentru calculul grinzilor căilor de rulare

Pentru dimensionarea grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante și a grinzilor de frînare se consideră, în general, acțiunea simultană a două poduri rulante încărcate; dacă sînt mai multe poduri rulante, în aceeași deschidere se consideră încărcate două poduri care conduc la solicitările cele mai devaforabile și încă două poduri descărcate; încărcărilor date de mai mult de două poduri rulante descărcate li se aplică coeficienți de grupare pentru două poduri rulante descărcate, care duc la acțiuni mai devaforabile, se aplică coeficientul 0,9, iar la celelalte, dacă sînt mai mult de patru poduri rulante descărcate, coeficientul 0,8.

Dimensionarea grinzilor căilor de rulare se face la un singur pod rulant, numai în cazurile cînd există siguranța că nu se va monta în viitor un al doilea pod rulant.

Pot exista situații cînd condițiile reale de exploatare a podurilor rulante conduc la necesitatea de a se considera la calcul acțiunea simultană a mai multor poduri rulante și de a se admite pentru coeficienții acțiunilor valori mai mari decît cele prevăzute în standarde; asemenea situații, pot fi admise la proiectare, dacă sînt justificate.

Săgeata în plan vertical a grinzilor căilor de rulare se determină pe baza acțiunilor normate admise la dimensionarea grinzilor, fără a se multiplica prin coeficienții acțiunilor și prin coeficienții dinamici. Săgeata orizontală a grinzilor de frînare, după normele din țara noastră, se determină la acțiunea unui singur pod rulant, care conduce la valoarea cea mai mare a săgeții.

2. Calculul grinzilor cu inimă plină cu grinzi de frînare

a. Acțiunea sistemului de forțe asupra grinzilor

Sistemul de încărcări dă asupra grinzii acțiuni complexe (fig. XIV.1). În cazul grinzilor simetrice în raport cu axa $x - x$, fără grinzi de frînare, forțele transversale T aplicate la nivelul șinei, dau, pe lîngă încovoiere trans-

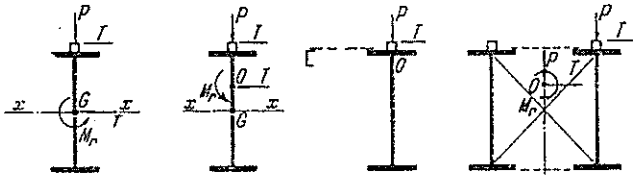


Fig. XIV.1. Efectele acțiunilor asupra grinzii.

versală, și un moment de răsucire important. Cînd grinzile au talpa superioară mai dezvoltată, centrul de răsucire se apropie de talpa superioară, dar momentul de răsucire poate fi încă mare. Grinzile de frînare trag centrul de răsucire spre intersecția axei lor cu axa grinzii verticale apropiindu-l de forța transversală T, astfel că efectul de răsucire devine neînsemnat. Ansamblul spațial format de două grinzi legate cu contravîntuiri orizontale și verticale este de asemenea supus la momente de răsucire din încărcarea unei singure grinzi. Forța orizontală longitudinală, aplicată la nivelul șinei căii grinzii, dă un surplus de moment încovoietor, al cărui efect este însă mic și care în cazuri obișnuite poate fi neglijat.

b. Eforturile în grinzile cu inimă plină

Din forțele verticale, cunoscînd momentul maxim, rezultă $\sigma_1 = \frac{M_x y}{I_x}$, y fiind distanța la fibra extremă a tălpii superioare sau inferioare. Eforturile τ se determină în secțiunile în care forța tăietoare Q este maximă și în secțiunile cu moment încovoietor maxim; rezultă $\tau = \frac{QS}{l_i I_x}$. Talpa superioară a grinzii aparține și grinzii de frînare și prin aceasta primește (dacă grinda de frînare este cu inimă plină) un efort $\sigma_2 = \frac{M_y x_1}{I_y}$, în care M_y este momentul dat de forțele orizontale în grinda de frînare, considerată simplu rezemată pe o deschidere, I_y momentul de inerție în raport cu axa $y - y$ a grinzii de frînare (care trece prin centrul ei de greutate) și x_1 distanța de la axa $y-y$ la fibra cea mai depărtată a tălpii. Distanța x_1 se poate lua pînă în axa grinzii verticale, deoarece suprapunerea efectelor pe o zonă redusă de la marginea platbandelor nu constituie un pericol (fig. XIV.2).

Cînd grinda de frînare este o grindă cu zăbrele, se determină efortul axial N în talpă ca la o grindă cu zăbrele și efortul unitar care este $\sigma_2 = \frac{N}{A_t}$, în care A_t este aria secțiunii tălpii (fig. XIV.3). Forțele T se consideră astfel aplicate, încît dau în talpa grinzii verticale eforturi unitare de compresiune. Talpa superioară a grinzii este supusă și la încovoiere în plan orizontal, fiind solicitată de forțele aplicate între nodurile grinzii de frînare. Rezultă un efort unitar

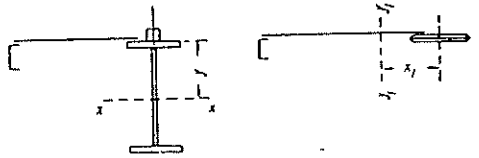


Fig. XIV.2. Secțiunile de calcul la grinzile de frînare cu inimă plină.

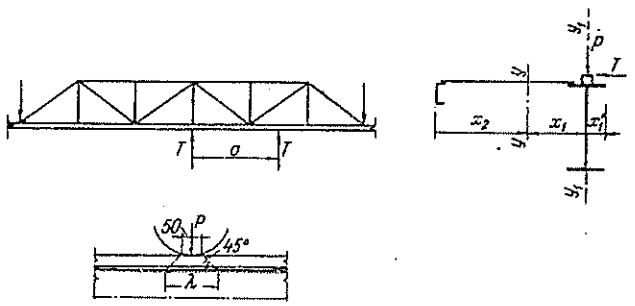


Fig. XIV.3. Elemente de calcul pentru grinzile de frînare cu zăbrele.

$\sigma_3 = \frac{M'_T}{I_T} x'_1$, în care I_T este momentul de inerție al tălpii superioare în raport cu axa proprie, iar x'_1 este distanța de la această axă la fibra cea mai comprimată. Efortul F în lungul grinzii este neglijabil.

Efortul unitar total în talpa superioară este:

— la grinda de frînare cu inima plină

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x_1 ; \qquad \text{(XIV.6)}$$

— la grinda de frînare cu zăbrele

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{N}{A_t} + \frac{M'_T}{I_T} x'_1, \qquad \text{(XIV.7)}$$

iar la talpa inferioară:

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y_i. \qquad \text{(XIV.8)}$$

Ultimii doi termeni din expresia (XIV.7) se iau împreună dacă eforturile pe care le exprimă apar în aceeași secțiune.

Într-un punct oarecare pe inima grinzii, efortul unitar se verifică cu relația

$$\sigma_{ec} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}. \qquad \text{(XIV.9)}$$

Valorile eforturilor unitare determinate cu relația (XIV.9) nu trebuie să depășească rezistențele admise în material.

Presiunea locală produce eforturi unitare σ_l în inima grinzii, în zonele în care nu sînt rigidizări transversale, sub influența încărcărilor concentrate P, aplicate pe talpa superioară, a căror valoare este

$$\sigma_l = \frac{P}{t_i \lambda}. \qquad \text{(XIV.10)}$$

Lungimea λ se ia conform fig. XIV.3.

Este necesar să se facă și verificarea inimii la legătura cu talpa superioară cu relația

$$\sigma_{ec} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_l^2 - \sigma_1 \sigma_l + 3\tau^2} \leqslant mR \qquad \text{(XIV.11)}$$

în care: σ_1 și τ se calculează la marginea inimii;

m este un coeficient care se ia egal cu 1,30, cînd verificarea se face în zona de reazem a grinzilor continue, și egal cu 1,15 pentru alte cazuri; dacă $\sigma_l = 0$, coeficientul $m = 1$.

Eforturile de lunecare la legătura dintre inimă și talpa superioară în suduri continue de colț se verifică folosind relațiile

$$\tau = \frac{1}{2a} \sqrt{\left(\frac{QS}{I_x}\right)^2 + \left(\frac{P}{\lambda}\right)^2} \leqslant R_f^s \qquad \text{(XIV.12)}$$

și

$$\sigma_{ec} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \leqslant R_f^s \qquad \text{(XIV.13)}$$

în care

$$\tau_1 = \frac{QS}{2aI_x} \quad \text{și} \quad \tau_2 = \frac{P}{2a\lambda}.$$

În cazul cînd legătura dintre inimă și talpă este făcută cu suduri în K, verificarea sudurii nu este necesară dacă s-a făcut verificarea inimii grinzii.

La grinzile nituite verificarea legăturii dintre inimă și talpă se face cu relațiile cunoscute.

3. Calculul grinzilor cu inimă plină fără grinzi de frînare

a. Grinzi dublu T simetrice

Eforturile unitare σ din încovoierea dată de încărcările verticale și eforturile unitare τ date în inimă de forța tăietoare Q se determină ca și în cazul grinzilor cu grindă de frînare. Forțele transversale aplicate la nivelul șinei dau, pe lîngă efectul de încovoiere, și un moment de răsucire M_r. La grinzile simetrice în raport cu cele două axe, centrul de răsucire se află chiar în centrul de greutate al secțiunii.

Dacă se consideră o grindă simetrică AB (fig. XIV.4) pe care în punctul C se aplică o forță H, care dă un moment de răsucire M_r, în reazemele împiedicate contra răsucirii apar momentele reacțiunii $M_a = M_r b/l$ și $M_b = M_r a/l$.

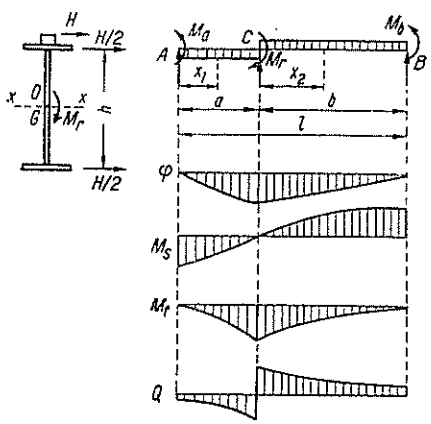


Fig. XIV.4. Eforturi din acțiunea de răsucire.

Adusă în centrul de răsucire forța H încovoaie grinda în plan transversal, rezultînd momentul $M_y = abH/l$.

Momentul de răsucire M_r dă în grindă:

— momentul de răsucire $M_s = GI_r\varphi'$, care echilibrează eforturile unitare τ_s, corespunzătoare unei răsuciri libere;

— forțele tăietoare în tălpile grinzilor, $Q_t = EI_y h\varphi'''/4$, care dau eforturile unitare τ_ω, echilibrate de momentul $M_\omega = -EI_y h^2\varphi'''/4$ și

— momentele încovoietoare în tălpi, $M_t = -EI_y \frac{h}{4}\varphi''$, care dau eforturile unitare σ_ω.

Deoarece trebuie ca $M_s + M_\omega = M_r$, rezultă

$$\varphi''' - \alpha^2\varphi' + \frac{4M_r}{h^2EI_y} = 0 \quad \text{sau} \quad \varphi''' - \alpha^2\varphi' + \beta M_r = 0 \qquad \text{(XIV.14)}$$

în care:

$$\alpha^2 = \frac{4GI_r}{h^2EI_y} \quad \text{și} \quad \beta = \frac{4}{h^2EI_y}.$$

Se observă că pe cele două porțiuni AC și CB momentul de răsucire este constant și egal cu M_a, respectiv M_b.

Soluția ecuației diferențiale pe cele două porțiuni este:

— pe porțiunea AC

$$\varphi_1 = C_1\,\mathrm{sh}\alpha x_1 + C_2\mathrm{ch}\alpha x_1 + C_3 - \frac{\beta M_r b}{\alpha^2 l}x_1; \qquad \text{(XIV.15)}$$

— pe porțiunea CB

$$\varphi_2 = B_1\,\mathrm{sh}\alpha x_2 + B_2\mathrm{ch}\alpha x_2 + B_3 + \frac{\beta M_r a}{\alpha^2 l}x_2. \qquad \text{(XIV.16)}$$

Pe reazeme $\varphi = 0$ și $\varphi'' = 0$ (momentele în tălpi $M_t = 0$), iar în punctul C, valorile φ, φ' și φ'' sînt aceleași pentru cele două porțiuni; astfel rezultă $C_2 = 0$ și $C_3 = 0$ din condiția $\varphi_1 = 0$ și $\varphi_1'' = 0$ pentru $x_1 = 0$; din condiția $\varphi_1 = \varphi_2$ în C, deci pentru $x_1 = a$ și $x_2 = 0$ rezultă

$$C_1\mathrm{sh}\alpha a - \frac{\beta M_r b}{\alpha^2 l}a = B_2 + B_3;$$

din condiția $\varphi_2 = 0$ în B, unde $x_2 = b$ se obține

$$B_1\mathrm{sh}\alpha b + B_2\mathrm{ch}\alpha b + B_3 + \frac{\beta M_r a}{\alpha^2 l}b = 0;$$

din condiția $\varphi_1' = \varphi_2'$ în C, unde $x_1 = a$ și $x_2 = 0$, rezultă

$$\alpha C_1\mathrm{ch}\alpha a - \frac{\beta M_r b}{\alpha^2 l}a = \alpha B_1 + \frac{\beta M_r a}{\alpha^2 l};$$

pentru $\varphi'' = 0$ în B, unde $x_2 = b$, se obține $B_1\mathrm{sh}\alpha b + B_2\mathrm{ch}\alpha b = 0$, iar pentru $\varphi_1'' = \varphi_2''$ în C, unde $x_1 = a$ și $x_2 = 0$, se obține $C_1\mathrm{sh}\alpha a = B_2$.

Din rezolvarea acestor relații rezultă

$$C_1 = \frac{\beta M_r}{\alpha^3}\cdot\frac{\mathrm{sh}\alpha b}{\mathrm{sh}\alpha l};\quad C_2 = 0,\quad C_3 = 0;\quad B_1 = \frac{-\beta M_r}{\alpha^3}\cdot\frac{\mathrm{sh}\alpha a\,\mathrm{ch}\alpha b}{\mathrm{sh}\alpha l};$$

$$B_2 = \frac{\beta M_r}{\alpha^3}\cdot\frac{\mathrm{sh}\alpha a\,\mathrm{sh}\alpha b}{\mathrm{sh}\alpha l} \quad \text{și} \quad B_3 = \frac{-\beta M_r}{\alpha^2}\cdot\frac{ab}{l}.$$

Cu aceste valori se pot scrie expresiile elementelor necesare pentru calcule pe cele două porțiuni:

— porțiunea AC $(x \leqslant a)$

$$\varphi_x = \frac{M_r}{\alpha GI_r}\left[\frac{\mathrm{sh}\alpha b}{\mathrm{sh}\alpha l}\,\mathrm{sh}\alpha x - ab\frac{x}{l}\right];\quad M_s = M_r\left(\frac{\mathrm{sh}\alpha b}{\mathrm{sh}\alpha l}\,\mathrm{ch}\alpha x - \frac{b}{l};\right)$$

$$M_t = \frac{M_s\mathrm{sh}\alpha b}{\alpha h\mathrm{sh}\alpha l}\mathrm{sh}\alpha x \quad \text{și} \quad Q = \frac{M_r\mathrm{sh}\alpha b}{h\mathrm{sh}\alpha l}\mathrm{ch}\alpha x;$$

— porțiunea CB $(l - x \geqslant a)$

$$\varphi_x = \frac{M_r}{\alpha GI_r}\left[\frac{\mathrm{sh}\alpha a}{\mathrm{sh}\alpha l}\mathrm{sh}\alpha\,(l-x) - \alpha a\frac{l-x}{l}\right];$$

$$M_s = -M_r\left[\frac{\mathrm{sh}\alpha a}{\mathrm{sh}\alpha l}\mathrm{ch}\alpha(l-x) - \frac{a}{l}\right]$$

$$M_t = \frac{M_r\mathrm{sh}\alpha a}{\alpha h\mathrm{sh}\alpha l}\mathrm{sh}\alpha\,(l-x) \text{ și } Q = -\frac{M_r}{h}\cdot\frac{\mathrm{sh}\alpha a}{\mathrm{sh}\alpha l}\cdot\mathrm{ch}\alpha(l-x).$$

b. Grinzi dublu T nesimetrice

În cazul unei grinzi nesimetrice în raport cu axa $x - x$, centrul de răsucire O nu mai coincide cu centrul de greutate G (fig. XIV.5).

Momentul $M = Qh = Qh_1 + Qh_2$. Pe de altă parte, expresia lui Q pentru cele două tălpi este

$$Q = -EI_1\frac{\mathrm{d}^3 z}{\mathrm{d}x^3} = -EI_1h_1\varphi''' = -EI_2h_2\varphi''', \qquad \text{(XIV.17)}$$

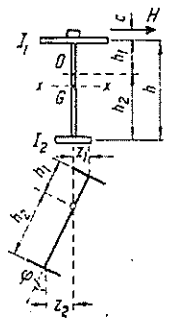


Fig. XIV.5. Răsucirea unei grinzi dublu T nesimetrică.

de unde

$$I_1 h_1 = I_2 h_2 \quad \text{și} \quad h_1 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} h\,; \quad h_2 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} h.$$

Înlocuind aceste valori în relația $M_s + M_\omega = M_r$, rezultă

$$GI_r\varphi' - E\frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} h^2 \varphi''' = M_r \text{ sau } E\frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} h^2 \varphi''' - GI_r\varphi' + M_r = 0. \qquad \text{(XIV.18)}$$

Ecuația are aceeași formă ca la grinzile simetrice, adică :

$$\varphi''' - \alpha^2\varphi' + \beta M_r = 0, \text{ în care}$$

$$I_c = \frac{4I_1 I_2}{I_1 + I_2}\,; \quad \alpha^2 = \frac{4GI_r}{h_0 EI_c} \text{ și } \beta = \frac{4}{h^2 EI_c}\,.$$

4. Elemente pentru calculul grinzilor cu zăbrele și ale grinzilor căilor macaralelor

a. Eforturi în grinzile cu zăbrele

Grinzile cu zăbrele ale căilor podurilor rulante au talpa superioară astfel dezvoltată, încît nu mai pot fi considerate că sînt formate în totalitatea lor din bare articulate la noduri. Talpa superioară este continuă, zăbrelele se pot considera legate articulat de talpă, iar nodurile tălpii inferioare pot fi considerate articulate. O astfel de grindă cu zăbrele este static nedeterminată. Calculul eforturilor în bare se poate face ridicînd nedeterminarea prin introducerea unor articulații la nodurile tălpii superioare și a unor momente necunoscute M_1, M_2, M_3..., în fiecare articulație, momente a căror valoare se determină astfel încît să fie restabilită continuitatea (fig. XIV.6). Talpa superioară este o grindă continuă pe reazeme elastice, elasticitatea reazemelor fiind determinată de deformația pe care o ia grinda cu zăbrele sub încărcare ; momentele în talpa superioară vor fi cu atît mai mari, cu cît talpa superioară are o rigiditate mai mare. Un calcul aproximativ se poate face considerînd că deformația grinzii cu zăbrele este o parabolă de forma $y = 4fx(l - x)/l^2$, în care $f = 2\,Pl^3/kEI$, unde $k = 30 \ldots 50$, după mărimea distanței a ; I este momentul de inerție al grinzii cu zăbrele. În condiții uzuale se ajunge la următoarele valori :

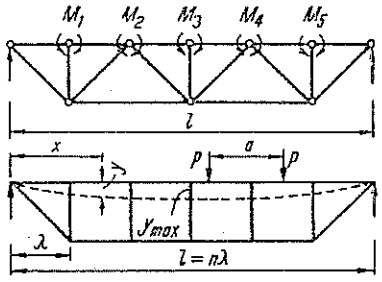


Fig. XIV.6. Solicitarea grinzii cu zăbrele.

— pe deschidere $\quad M_d = +P\lambda/5\,;$ (XIV.19)

— pe reazem $\quad M_r = -P\lambda/7.$ (XIV.20)

Eforturile unitare din încărcări verticale în talpa superioară sînt $\sigma = \frac{N}{\varphi A} + \frac{M}{W}$, N fiind efortul axial în talpa superioară ; se face și o verificare la oboseală pentru toate barele și prinderile grinzii cu zăbrele.

b. Elemente pentru calculul grinzilor căilor macaralelor în consolă

Încărcările macaralelor în consolă asupra grinzilor căilor de rulare depinde și de modul de alcătuire a macaralelor (fig. XIV.7).

Încărcările verticale pe roți sînt

$$P_{max} = \frac{1}{n}(Q + q + G)\,; \qquad \text{(XIV.21)}$$

în care n este numărul roților verticale.

Forța longitudinală căii este $L = P_{max}/10$ și este aplicată la nivelul șinei căii macaralei.

Forța de frînare a pisicii este :

$T = 0{,}10(Q + q)$, în cazul suspensiei rigide și

$T = 0{,}05(Q + q)$, în cazul suspensiei elastice ;

forța T se dezvoltă la nivelul șinelor căii de pe macara și dă reacțiuni în dreptul roților orizontale ale macaralei, care se determină după legile mecanicii. Deosebit de aceste forțe mai apar, datorită efectului de consolă, forțe orizontale transversale H, în dreptul roților orizontale, egale cu

$$H = \frac{Gd + (Q + q)l}{2h}\,. \qquad \text{(XIV.22)}$$

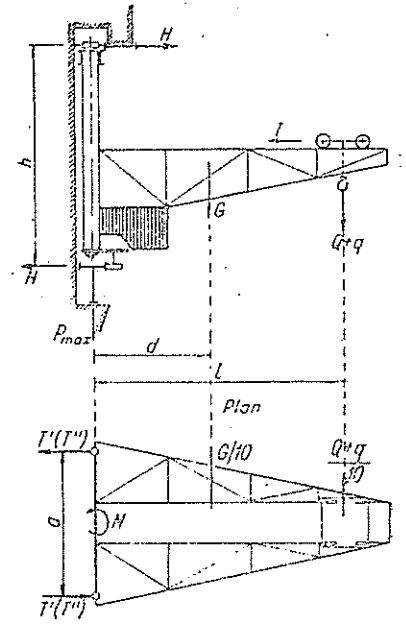


Fig. XIV.7. Încărcările căilor macaralelor.

În momentul frînării podului se dezvoltă un moment $M = [Gd + (Q + q)l]/10$, care se descompune în două cupluri $T'a$ și $T''a$, aplicate la nivelul căilor orizontale de sus și de jos. Această acțiune nu este concomitentă cu frînarea pisicii.

5. Verificarea inimilor grinzilor la stabilitate

a. Grinzi dublu T cu rigidizări simetrice

Nu este necesară verificarea inimilor la stabilitate dacă

$$\frac{h_0}{t_i} \leqslant 80\sqrt{\frac{24}{\sigma_c}} \qquad \text{(XIV.23)}$$

în care σ_c este limita de curgere a oțelului din care este confecționată inima.

Verificarea inimilor grinzilor dublu T simetrice care au numai rigidizări transversale (fig. XIV.8) se face cu relația

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_l}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leqslant m \qquad \text{(XIV.24)}$$

În această relație:

$\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot \frac{h_0}{2}$, calculat cu valoarea medie a momentului din panoul care se verifică; cînd $a/h_i > 1$, valoarea momentului M este medie pe o lungime egală cu h_i din zona cea mai solicitată a panoului;

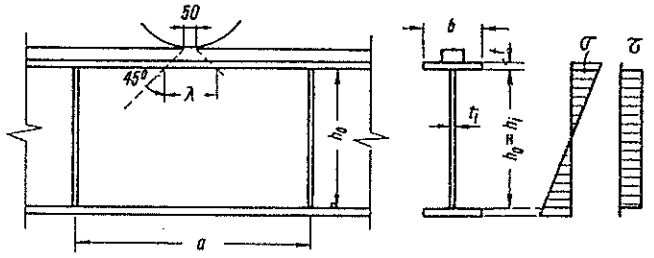


Fig. XIV.8. Elemente pentru verificarea inimilor.

σ_l are valoarea dată de relația (XIV.10);

$\tau = \frac{T}{h_i t_i}$;

σ_{cr}, σ_{lcr} și τ_{cr} sînt rezistențele critice de voalare ale inimii solicitate numai la unul din aceste eforturi;

m este un coeficient care, pentru grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante, se ia egal cu 0,9.

Valorile rezistențelor critice de voalare sînt date de relațiile

$$\sigma_{cr} = k_0 \left(\frac{t_i}{h_0}\right)^2 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]}; \qquad \text{(XIV.25)}$$

$$\sigma_{lcr} = k_1 \left(\frac{t_i}{a}\right)^2 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]}; \qquad \text{(XIV.26)}$$

$$\tau_{cr} = \left[(1\,250 + \frac{950}{\alpha^2}\right] \left(\frac{t_i}{d}\right)^2 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]}. \qquad \text{(XIV.27)}$$

În relația (XIV.27) α este raportul dintre latura mare și cea mică a panoului care se verifică, iar d este latura mică a panoului.

Valorile coeficienților k_0 și k_1 depind de raportul γ al rigidităților tălpilor și inimii, de raportul a/h_0 și de raportul eforturilor unitare σ_0/σ. Valorile acestor coeficienți sînt dați în tabele; în proiectul de STAS 10108/0-76 pentru calculul elementelor din oțel sînt cuprinse asemenea tabele, acceptate după normele de proiectare din U.R.S.S., ediția 1972.

b. Grinzi dublu T simetrice cu rigidizări transversale și longitudinale

Verificarea inimilor grinzilor dublu T simetrice care au rigidizări transversale și longitudinale (fig. XIV.9) se face separat pentru cele două panouri ale inimii de deasupra și de sub rigidizarea longitudinală. Panoul cuprins între rigidizarea longitudinală și talpa comprimată se verifică folosind relația

$$\sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_l}{\sigma_{lcr}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leqslant m. \qquad \text{(XIV.28)}$$

Coeficientul m se ia egal cu 0,9.

Valorile rezistențelor critice de voalare sînt

$$\sigma_{cr} = \frac{1\,000}{4\left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right)} \cdot \frac{(1 + \alpha_1^2)^2}{\alpha_1^2} \left(\frac{t_i}{h_1}\right) 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]} \qquad \text{(XIV.29)}$$

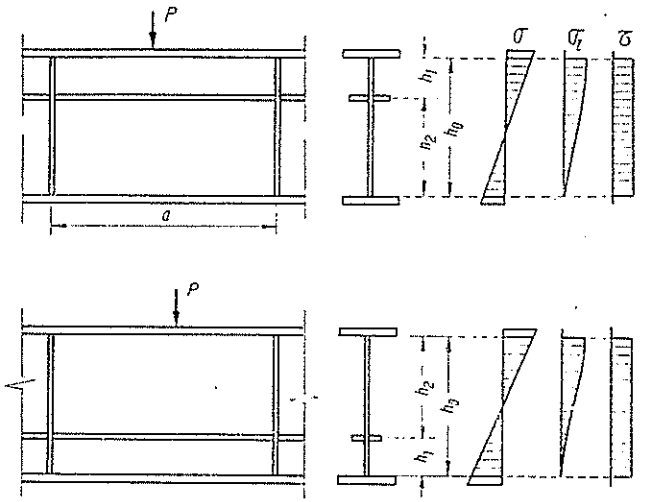


Fig. XIV.9. Grinzi cu inimă plină cu rigidizări longitudinale.

unde $\alpha_1 = a/h_1$; dacă $\alpha_1 > 2$, în relația (XIV.29) se introduce $\alpha_1 = 2$.

$$\sigma_{1cr} = k' \frac{(1+\alpha_1^2)^2}{\alpha_1^2} \left(\frac{t_i}{a}\right)^2 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]}. \qquad \text{(XIV.30)}$$

Coeficientul k' are valorile din tabelul XIV.3.

τ_{cr} se determină cu relația (XIV.27) în care se introduc dimensiunile a și h_i ale panoului care se verifică.

În cazul cînd există și rigidizări scurte așezate între talpa comprimată și rigidizarea longitudinală, rezistențele critice se calculează ca pentru un panou cu dimensiunile a_1 și h_1 (fig. XIV.10).

Tabelul XIV.3

$\alpha_1 = a/h_1$	1,0	1,5	2,0
k'	339	420	450

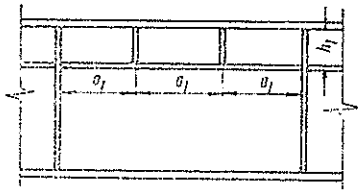


Fig. XIV.10. Rigidizări scurte.

c. Grinzi dublu T cu secțiune nesimetrică

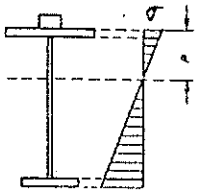


Fig. XIV.11. Grinzi cu secțiune nesimetrică.

În cazul grinzilor cu secțiune nesmetriciă (fig. XIV.11) care au numai rigidizări transversale, verificarea se face ca la grinzile simetrice, înlocuindu-se h_0 cu $2e$.

Dacă $a/h_0 > 0{,}8$ se fac două verificări: odată cu σ_{cr} dat de relația (XIV.25) și σ_{1cr} din relația (XIV.26), înlocuindu-se a cu $a/2$; a doua oară cu σ_{cr} dat de relația (XIV.25) în care k_0 are altă valoare k_2, iar σ_{1cr} dat de relația (XIV.26) în care dacă $a > 2h_0$, se ia $a = 2h_0$.

În cazul cînd există și rigidizări longitudinale se folosesc relațiile (XIV.28) (XIV.29) și (XIV.30) în care raportul h_1/h_0 se înlocuiește cu $\psi \frac{h_1}{2h_0}$, coeficientul ψ fiind $\psi = \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma}$.

d. Rigidizările inimilor grinzilor

Se prevăd rigidizări transversale cînd

$$h_0/t_i > 100\sqrt{\frac{24}{\sigma_c}}. \qquad \text{(XIV.31)}$$

Se poate renunța la rigidizări transversale cînd raportul h_0/t_i este mai mare ca cel prevăzut de relația (XIV.31), dacă aceasta este justificat prin calcul.

Lățimea b_r și grosimea t_r ale rigidizărilor transversale se iau conform relațiilor

$$\frac{h_i}{30} + 40 \text{ mm}; \qquad \text{(XIV.32)}$$

$$t_r \geqslant \frac{b_r}{15} \quad \text{pentru OL37 și OL44;}$$

$$t_r \geqslant \frac{b}{12} \quad \text{pentru OL52.} \qquad \text{(XIV.33)}$$

Rigidizările longitudinale, așezate în zona comprimată a inimii, se întrerup la rigidizările transversale, care trebuie să rămînă continue. Rigidizările longitudinale vor avea un moment de inerție I_r a cărui valoare se determină cu relațiile din tabelul XIV.4.

Tabelul XIV.1

$\frac{h_1}{h_0}$	Momentul de inerție necesar pentru rigidizarea longitudinală	Valorile limită I_r	
		Minime	Maxime
0,20	$\left(2{,}50 - 0{,}50\,\frac{a}{h_0}\right)\frac{a^2}{h_0}\,l_i^3$	$1{,}5 h_0 l_i^3$	$7{,}0\ h_0 l_i^3$
0,25	$\left(1{,}50 - 0{,}40\,\frac{a}{h_0}\right)\frac{a^2}{h_0}\,l_i^3$	$1{,}5 h_0 l_i^3$	$3{,}5\ h_0 l_i^3$
0,30	$1{,}50\ h_0 l_i^3$		

Cînd există rigidizări longitudinale, momentul de inerție al rigidizărilor transversale va fi

$$I_r \geqslant 3 h_0\, l_i^3. \qquad \text{(XIV.34)}$$

6. Calea grinzilor de rulare

a. Șine. Așezarea șinelor

Șinele grinzilor căilor de rulare au secțiuni pătrate ori dreptunghiulare sau au forme speciale. Șinele cu secțiunea pătrată sau dreptunghiulară au muchiile dinspre față de sus rotunjite sau teșite; dimensiunile lor variază după presiunea pe roată. Lățimea este de 50—120 mm; înălțimea, este de cel puțin 60 mm (fig. XIV.12). Alegerea înălțimii șinei se face pe bază de calcul; pentru a se evita oscilațiile laterale este de dorit ca lățimea șinei să nu fie mai mică decît intervalul liber între buzele bandajului; practic se poate admite o diferență de 15—16 mm. Înălțimea minimă a șinelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară este limitată de necesitățile de prindere și de uzura șinei; pentru uzură se ia o diferență între buza bandajului și părțile fixe de prindere în funcție de regimul podului, ținînd seama că se uzează atît șina, cît și bandajul roții. Această diferență trebuie să fie de cel puțin 20 mm la podurile

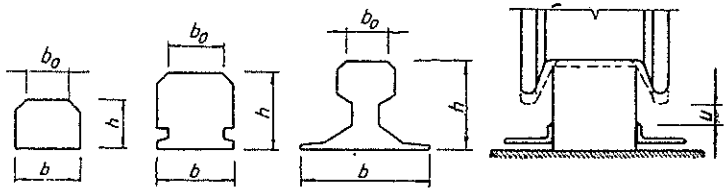


Fig. XIV.12. Șine pentru căi de rulare.

ușoare și de cel puțin 30 mm la podurile cu regim greu. Șinele dreptunghiulare mari au pe fețele laterale, la partea de jos, șanțuri longitudinale, care permit o prindere bună a șinei de talpa grinzii. Șinele speciale au în secțiune forme asemănătoare cu acelea ale șinelor de cale ferată; sînt însă mai joase, au ciuperca și talpa mai late și inima mai groasă. Se laminează astfel de șine cu lățimea ciupercii între 60 și 120 mm.

Șinele căilor de rulare se fac din oțel carbon cu rezistența la rupere de cel puțin 50 daN/mm²; pentru poduri cu regim greu de lucru se folosesc oțeluri cu rezistențe la rupere mai mari (60—70 daN/mm²). Șinele speciale sînt laminate din oțeluri cu rezistență mare. Nu este admisibil să se folosească șine din oțeluri de construcție obișnuite, deoarece acestea se uzează repede, materialul refulează sub presiunile locale mari ale roților și, în urma frînărilor repetate, fața lor superioară se ondulează. De obicei, pentru o bună comportare a șinelor și a bandajelor roților, rezistențele acestora se aleg astfel încît rezistența bandajului să fie cu 10—20 daN/mm² mai mare decît a șinei. Șinele care se prind prin sudură de talpa grinzilor vor fi din oțeluri sudabile și cu rezistența la rupere de 50—52 daN/mm².

Șinele cu secțiune dreptunghiulară sau pătrată se folosesc pentru orice încărcări pe roată; la încărcări mari sînt indicate însă șinele cu șanțuri laterale. Șinele speciale se folosesc pentru poduri grele.

Prinderea șinelor de grindă trebuie făcută cu multă atenție. Prinderea șinei prin sudare directă de talpa grinzii se poate face numai la căi pentru poduri ușoare și cu regim ușor sau mediu, adică numai acolo unde nu există forțe orizontale transversale mari și unde nu este necesară o corectare a căii din timp în timp. Sudura trebuie să fie continuă și cu dimensiuni minime. În mod obișnuit, prinderea șinei de talpa superioară se face prin mijloace care să permită:

— o așezare corectă la montaj: montarea grinzii căii de rulare se face cu unele toleranțe, șina însă trebuie așezată rectiliniu și într-o poziție care să asigure dimensiunea prevăzută în proiect pentru deschiderea podului rulant, cu toleranțele admise. Așezarea șinei nu trebuie să ducă însă la deplasări mari față de inima grinzii care dau efecte defavorabile; se poate admite o deplasare egală cu 1/4 din grosimea inimii; la deplasări mai mari este necesară o verificare prin calcul;

— corectarea ușoară a poziției șinelor în timpul exploatării, deoarece acestea se deplasează neregulat în urma presiunilor și a șocurilor laterale;

— înlocuirea șinelor uzate.

Șinele cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară, fără șanțuri laterale, se pot prinde cu bucăți de corniere, care se sudează de șină, după ce una dintre aripi se reduce ca lățime (fig. XIV.13). Cornierele se sudează ceva mai sus de fața inferioară, cu 0,5—1 mm, pentru ca șinele să nu rezeme prin intermediul lor. Prinderea de talpă se face cu unul sau cu două șuruburi la fiecare cornieră, care au sub piuliță șaibe resort. Găurile din talpa grinzii sînt rotunde și au diametrul mai mare decît al șuruburilor cu maximum un milimetru; în schimb în aripile cornierelor se dau găuri ovale, pentru a se putea așeza șina în poziție

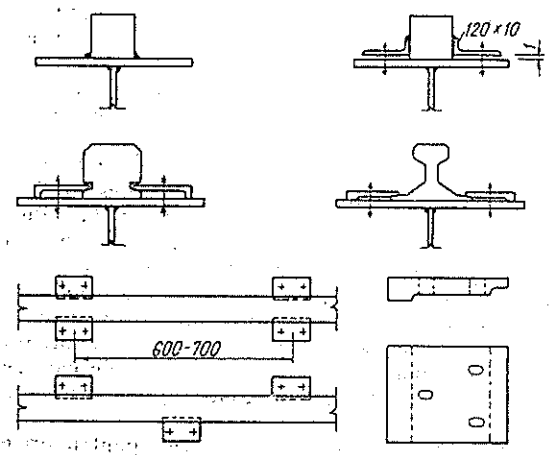


Fig. XIV.13. Așezarea și prinderea șinelor.

corectată. Prinderile se fac față în față sau decalat, la distanța de 600—700 mm. Fața inferioară a șinei și fața tălpii pe porțiunea de contact cu șina nu se vopsesc și nu se ung cu ulei sau cu unsori. Șinele pătrate sau dreptunghiulare cu șanțuri laterale se prind mult mai bine și sînt indicate în cazul podurilor grele. Prinderea se face cu plăcuțe de forme speciale. Acestea au o buză care intră în șanțul șinei și un rebord care împiedică deplasarea șinei; la marginea opusă placa are un scaun, astfel că prin strîngerea șuruburilor șina este foarte bine apăsată pe talpă. Plăcile au una, două sau trei găuri ovale, după mărimea șinei, și se prind cu șuruburi. Strîngerea șuruburilor se face foarte bine, dîndu-se prin strîngere un efort de întindere în tija șurubului de 800—1 000 daN/cm². Șinele de formă specială se prind cu plăcuțe de aceeași formă.

Rosturile șinelor constituie puncte slabe pentru cale. Șinele, în special cele cu formă dreptunghiulară, se livrează la lungimi mici, 6—8 m, rezultînd din această cauză rosturi dese. Șinele se uzează repede la rosturi în urma presiunilor locale dezvoltate pe marginea transversală și se produc denivelări. Se evită într-o măsură apreciabilă această uzură, prin tăierea șinelor înclinat, sub un unghi în plan orizontal de circa 30°. Pe o cale sînt două tipuri de rosturi: unele la înnădirea în prelungire a șinelor și altele la rosturile grinzii căii de rulare. Primele pot fi evitate prin sudarea șinelor cap la cap, preferabil prin rezistență sau aluminiotermie. La rosturile de înnădire șinele se lasă fără interval și se prind cu plăcuțe chiar în rost. Rosturile șinelor care corespund cu rosturile grinzii se așază deplasat față de acestea cu 500—600 mm (fig. XIV.14). Între

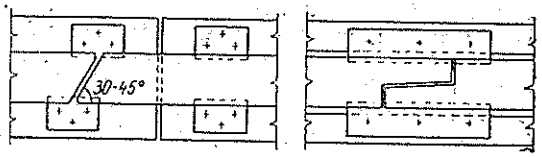


Fig. XIV.14. Rosturile șinelor.

capetele șinelor se lasă un interval de 2—3 mm. În dreptul rostului se face o prindere cu plăcuțe late; șinele speciale se pot prinde aici cu plăcuțe-eclise. La grinzile simplu rezemate pe fiecare deschidere, șinele se prevăd cu rosturi care permit deplasarea la fiecare reazem. Rosturile șinei care corespund rosturilor halei pot avea deplasări mari; cînd intervalul poate depăși 4—6 mm, se fac rosturi cu șina tăiată în jumătate, care asigură o călcare mai bună a roții.

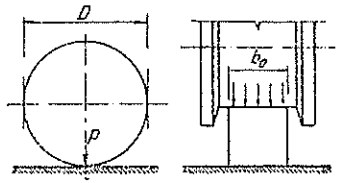


Fig. XIV.15. Presiunea pe șină.

b. Dimensionarea șinelor

Lățimea de contact b_0 a șinelor cu roata se determină prin calcul. Dacă presiunea locală admisibilă în material este σ_l se poate scrie

$$606\sqrt{\frac{P}{b_0 r}} = 855\sqrt{\frac{P}{b_0 D}} = \sigma_l \qquad \text{(XIV.35)}$$

sau

$$\frac{P}{b_0 D} = \left(\frac{\sigma_l}{855}\right)^2 = p \qquad \text{(XIV.36)}$$

de unde $b_0 = \frac{P}{Dp}$, unde D este diametrul roții și P presiunea pe roată (fig. XIV.15).

Presiunea diametrală admisibilă p se ia, în funcție de regimul podului și de uzura posibilă a șinei, între 40 și 60 daN/cm².

XV. Tampoane. Portale

1. Tampoane

a. Alcătuire, așezare

Pentru oprirea podurilor rulante, care accidental, nu ar frîna la timp și ar ajunge la capătul căilor de rulare, se prevăd tampoane. Tampoanele primesc un șoc, care depinde de greutatea podurilor rulante și de viteza pe care acestea o au în momentul izbirii. Tampoanele pentru podurile rulante pînă la 5 t capacitate de ridicare se pot alcătui dintr-o piesă cu secțiunea în dublu T, sudată la bază pe talpa superioară a grinzii căii de rulare sau în capătul grinzii

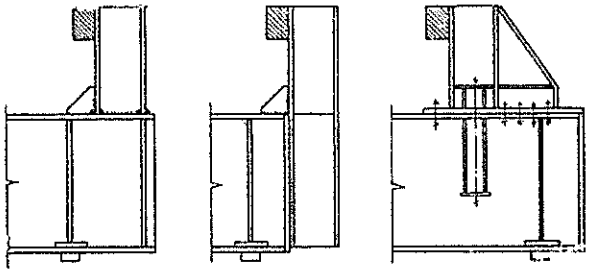


Fig. XV.1. Tampoane.

căii de rulare (fig. XV.1). Pentru poduri mai grele se alcătuiește un tampon mai rezistent, care se prinde cu buloane de talpa grinzii ; se prevăd în plus buloane de ancoraj, prinse de inima grinzii căii de rulare. La nivelul tampoanelor podului rulant se prind bucăți de lemn de stejar, în care se izbesc tampoanele. Înălțimea piesei de lemn deasupra tălpii variază, după construcția și capacitatea podului rulant, între 800 și 1 300 mm. În unele cazuri, pentru a se consuma o parte din energia cinetică a podului, șinele se ridică cu o înclinare de 1/4, înaintea tampoanelor.

b. Calculul tampoanelor

Dimensionarea tampoanelor și a prinderii acestora de grinzile căilor de rulare se face pe baza forței care se dezvoltă în momentul cînd podul izbește tampoanele.

Valoarea forței Q depinde de masa m a podului în mișcare și de viteza v de deplasare a podului rulant în momentul izbirii ; energia cinetică se consumă cu deformarea podului rulant, considerat ca o grindă în plan orizontal, avînd deschiderea egală cu deschiderea l a podului ; în momentul izbirii, tampoanele constituie reazemele orizontale ale grinzii podului. O altă parte din energie se consumă cu deformarea tamponului ; o altă parte este absorbită de deformarea sistemului de grinzi și stîlpi pe care sînt montate tampoanele.

La podurile rulante cu suspensie elastică, la determinarea masei în mișcare, sarcina Q pe care o ridică podul rulant nu se ia în considerare.

O relație care se poate folosi la determinarea forței de izbire este

$$Q = \frac{\pi v}{l^2}\sqrt{2\,ml\,EI} \approx 7\,900\,\frac{v}{l^2}\sqrt{mI} \qquad \text{(XV.1)}$$

în care :

v este viteza podului rulant, în cm/s, în momentul izbirii care se poate lua 0,5 din viteza maximă de deplasare a podului, ceea ce are în vedere într-o oarecare măsură că tamponul nu este rigid ;

l — deschiderea podului rulant ;
m — masa podului, care în cazul suspensiei elastice este $(G + q)/g$; G este greutatea podului, q greutatea pisicii și $g = 981$ cm/s² ;
E — modulul de elasticitate al oțelului, $E = 2{,}1 \cdot 10^6$;
I — momentul de inerție al ansamblului grinzilor podului rulant în raport cu o axă verticală, în cm⁴.

Se reduce efectul izbirii dacă șinele se ridică în apropierea tampoanelor. În standardele pentru încărcări datorite podurilor rulante sînt date valorile normate ale forțelor orizontale de izbire în tampoane.

2. Portale

a. Alcătuire și așezare

Portalele fac parte din contravîntuirile verticale ale șirurilor longitudinale de stîlpi ale halelor cu poduri rulante. Se așază sub grinzile căilor podurilor rulante și iau forțele de frînare longitudinale, cum și alte forțe orizontale, date de vînt sau de diferite utilaje. Tipurile de portale sînt diferite, după importanța forțelor pe care trebuie să le transmită (fig. XV.2). Pot fi realizate portale în formă de cadru, dezvoltîndu-se unii stîlpii în sens longitudinal halei. O formă de portal, folosită des, se obține cu două diagonale încrucișate ; dacă stîlpii pînă la grinda căii de rulare sînt înalți, se fac pe înălțime două panouri cu diagonale încrucișate. Pe șirurile interioare de stîlpi, diagonalele pot împiedica trecerea dintr-o deschidere în alta sau așezarea unor instalații tehnologice. Portalele în formă de cadre cu zăbrele este preferabil să fie independente.

Dacă grinzile căilor de rulare din deschiderile vecine sînt la niveluri diferite, portalele sub cele două căi se alcătuiesc după aceeași schemă statică pînă la nivelul grinzii joase, pentru a se evita efecte neplăcute.

Așezarea portalelor se face sub grinzile căilor de rulare (fig. XV.3). Portalele se așază pe fiecare șir de stîlpi care au grinzi cu căi pentru poduri rulante. În condiții normale pe un tronson de hală, cuprins între două rosturi, se prevăd

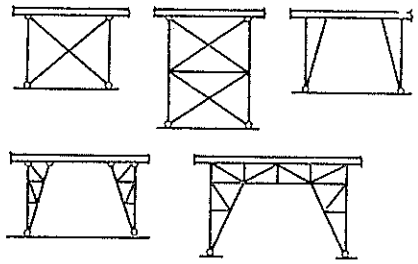


Fig. XV.2. Tipuri de portale.

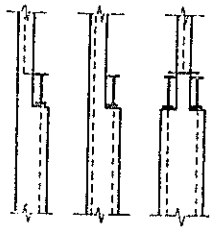


Fig. XV.3. Așezarea portalelor.

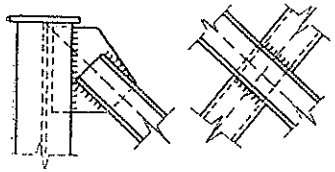


Fig. XV.4. Prinderi la portale.

unul sau două, trei portale ; un portal poate fi suficient pentru o lungime de hală de 60—70 m. Portalele, fiind părți de construcție rigide, se așază în partea centrală a porțiunii de hală ; cînd sînt două sau trei portale, acestea se așază de asemenea în zona centrală, la 3—4 travee interval între ele, lăsîndu-se spre capete porțiuni libere, pentru a se evita dezvoltarea unor eforturi mari, datorite variației de temperatură ; distanța între două portale nu trebuie să depășească circa 50 m.

Elementele portalelor sînt alcătuite de obicei din corniere, sau din profile U. La tipurile de portale cu bare încrucișate, alcătuirea secțiunii se face ținînd seama că se admite ca eforturile să fie luate numai de diagonala întinsă, cea comprimată considerîndu-se că a flambat ; acest mod de rezolvare este însă neadmisibil pentru hale mult solicitate, deoarece diagonalele oscilează lateral în timpul trecerii podurilor rulante. La tipurile cu contrafișe, zăbrelele interioare asigură bara înclinată contra flambajului în planul portalului ; se alege secțiunea astfel încît bara să aibă o rigidizare mare în plan transversal portalului, de exemplu două corniere cu aripi neegale, un profil U sau dublu T sau se alcătuiește o secțiune din elemente depărtate.

Prinderea portalelor de stîlpi se face sus, cît mai aproape de grinda căii de rulare, iar jos, cît mai aproape de bază. Prinderea se face de gusee sudate de stîlpi ; piesele se fixează cu șuruburi de montaj și apoi se sudează de gusee. Prinderea cu șuruburi se admite numai la hale cu regim ușor și mediu (fig. XV. 4) Diagonalele din elemente depărtate se alcătuiesc astfel încît la intersecție acestea să treacă unele pe lîngă altele. Prinderea contrafișelor de grinzile căilor de rulare se face cu gusee, ținînd seama că prin acestea trec eforturi și din încărcările verticale ale convoiului.

b. Calculul portalelor

Forțele orizontale longitudinale halei, care ajung la nivelul căilor grinzilor podurilor rulante din frînarea podurilor, L și din vîntul pe frontoane, W, transmise prin contravîntuirile verticale de deasupra grinzilor căilor podurilor rulante, sînt luate de portale și transmise mai departe la fundații. Dacă pe o porțiune de hală se află mai multe portale, forțele orizontale longitudinale se împart egal între acestea sau proporțional cu rigiditatea lor, cînd au alcătuiri diferite.

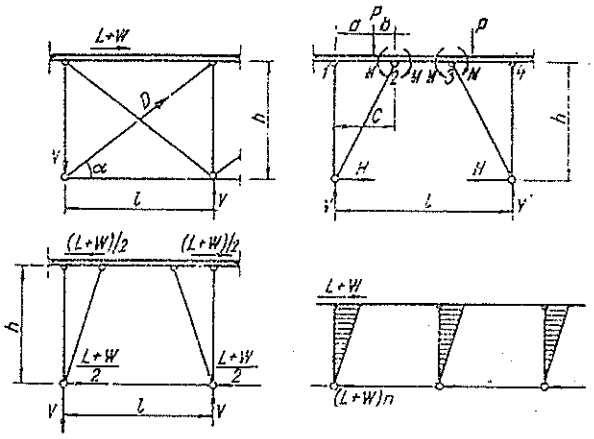


Fig. XV.5. Solicitarea portalelor.

Forțele orizontale la portalele cu diagonale dau în diagonale : $D = (L + W)/\cos\alpha$, cînd se admite că lucrează numai diagonala întinsă și $D = \pm (L + W)/2 \cos\alpha$ cînd se consideră că lucrează ambele diagonale (fig. XV.5). La nivelul tălpii stîlpii apare forța orizontală $H = (L + W)/2$. Reacțiunile verticale sînt $V = \pm (L + W)h/l$.

În cazul portalelor legate și de grinda căii de rulare, care formează cadre, reacțiunile la baza stîlpilor, considerați articulați, sînt

$$H = (L + W)/2 \quad \text{și} \quad V = (L + W)h/l.$$

Din încărcările verticale se dezvoltă eforturi numai în portalele în formă de cadre, legate rigid cu grinda căii de rulare. Dacă lungimea grinzii căii de rulare se consideră limitată la deschiderea portalului, iar legăturile dintre barele portalului și grindă se consideră articulate, rezultă următoarele relații pentru o încărcare simetrică pe cadru

$$V = P \text{ și } H = (Vc - Pb + M)/h = (Pa + M)/h,$$

în care M este momentul de grindă în punctul 2, unde se află legătura barei înclinate cu grinda. Determinarea lui M se poate face prin una din metodele staticii ; se introduc articulații în punctele 2 și 3 precum și momentele M pentru restabilirea continuității. Un calcul mai exact se poate face considerînd grinda căii de rulare continuă și pe cele două travee alăturate portalului.

XVI. Platforme și scări

1. Platforme

a. Alcătuire

Platformele industriale se folosesc în numeroase cazuri în interiorul halelor sau la exterior în aer liber.

Platformele pot fi alcătuite dintr-un planșeu așezat la nivelul necesar; în cazul oțelăriilor se fac platforme la nivelul gurilor cuptoarelor. Alteori se fac mai multe planșee construite pe zone reduse și la niveluri diferite; ele pot servi ca elemente de acces la unele părți ale agregatelor mari și înalte, care trebuie să fie controlate și revizuite des (fig. XVI.1). În concepția actuală de așezare a unor agregate tehnologice în aer liber, platformele formează paliere de acces la diferite niveluri ale unor astfel de instalații.

Forma platformelor este în general foarte variată, fiind impusă de natura instalațiilor pe care le servesc; se urmărește să se obțină forme simple și cu mărimea strict necesară. Platformele sînt alcătuite dintr-un planșeu susținut de stîlpi; parte din stîlpii și din grinzile planșeului reazemă în multe cazuri direct pe utilaje, pe zidărie sau pe șarpanta construcției halei. Părțile libere ale platformelor sînt mărginite de balustrade; accesul la platforme se face pe scări de construcție simplă. Pe platforme are acces personalul de exploatare și pot fi depozitate piese sau părți din utilaje, care se demontează în timpul reparațiilor; în unele cazuri, pe platforme, în jurul unor agregate, se depozitează

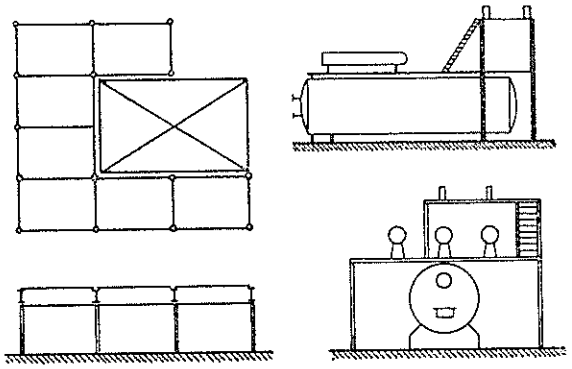


Fig. XVI.1. Platforme.

materialele necesare consumului imediat sau sînt aduse cu vehicule industriale, trenuri cu vagoane încărcate sau alte instalații mobile (vagoane-cîntar, mașini de încărcare etc.). Pe platforme sînt uneori, așezate instalații tehnologice care dau șocuri sau vibrații și care dezvoltă forțe în direcții diferite. Din aceste motive, construcția platformelor, forma și alcătuirea lor sînt strîns legate de instalația tehnologică și nu se poate proiecta fără cunoașterea amănunțită a acesteia din urmă.

b. Planșee

Planșeele platformelor se alcătuiesc după natura și după importanța încărcărilor pe care le au de suportat. Sînt alcătuite din simple plăci de beton armat sau de metal susținute de grinzi, pe care circulă oamenii, sau au alcătuirea unor planșee grele, cînd suportă încărcări mari sau încărcări mobile. Uneori apare necesară și o protecție împotriva uzurii, a temperaturilor ridicate sau a unor acțiuni corosive. Alegerea tipului de planșeu se face numai după ce se cunoaște bine destinația lui și influențele pe care le pot avea condițiile exploatării asupra materialelor din care se execută. De asemenea, este necesar să se țină seama de costul planșeului, care este influențat de sistemul de susținere; un calcul de economie, luînd în considerare sistemul în ansamblul său: planșeu, rețea de grinzi și stîlpi, apare deseori necesar.

Plăcile metalice ale planșeelor se fac din tablă plană, din tablă striată, din tablă cu găuri, din rame cu goluri sau din piese turnate (fig. XVI.2). Tablele se prind de grinzile care le susțin cu sudură, mai rar cu nituri; cînd sînt continue pe mai multe deschideri se prind cu suduri continue la margini, iar pe grinzile interioare se prind cu suduri în găuri. La rosturile transversale deschiderii se fac îmbinări cu platbande sau cu corniere, care se așază pe intervalul dintre grinzi. La tablele plane se prevăd sub table, la distanțe egale cu o dată pînă la de două ori deschiderea, rigidizări sudate. Rigidizările pot fi mai dese și mai mari, cînd deschiderea plăcii este mare; în acest caz, tablele pot fi considerate ca plăci cu nervuri, iar distanța între nervuri se ia egală cu cel mult de 50 ori grosimea tablei. Tabla profilată sub diferite forme se folosește cînd deschiderile între grinzi sînt mari.

La unele platforme se folosesc grătare, formate din lamele de 1—2 mm grosime, late de 30—40 mm, așezate încrucișat și îmbinate în jumătate; sistemul de lamele este mărginit de un cadru. Grătarele sînt rezistente, rigide și au avantajul că lasă să treacă lumina prin ochiurile carelajului, care are laturile de circa 30 mm.

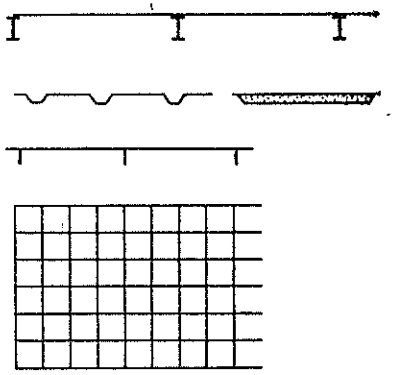


Fig. XVI.2. Planșee metalice.

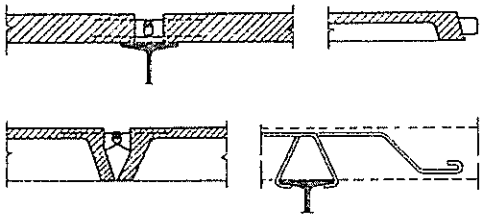


Fig. XVI.3. Planșee de beton armat.

În unele situații se folosesc plăci cu nervuri din oțel turnat : aceste plăci sînt utilizate la planșee cu încărcări mari sau pe care circulă cărucioare sau sînt trase piese calde. Planșeele din tablă plană, din grătare sau din plăci de oțel turnat pot fi folosite fără o altă acoperire ; cele din tablă profilată sînt acoperite cu un strat de beton de egalizare și de uzură.

Planșeele din beton armat se fac din plăci prefabricate cu grosime constantă sau din plăci cu nervuri, mai rar din plăci turnate pe loc. Plăcile trebuie să rezeme suficient pe grinzi, pe o lățime de cel puțin 50 mm și să fie legate între ele și de grinzi. Legătura la capetele plăcilor se face prin armăturile care ies din placă și prin introducerea unor bare de 6—8 mm diametru în rost ; legătura laterală se face prin mustăți, care se leagă de bare introduse de asemenea în rosturi (fig. XVI.3). Pentru legarea de grindă se pot folosi agrafe cu cioc, care se ancorează în rosturile longitudinale plăcilor sau bucăți de oțel rotund, sudate de fața superioară a grinzii metalice. Rosturile se umplu cu mortar de ciment.

Stratul de uzură sau de protecție se alcătuiește din beton, din asfalt turnat, din pavaje cu cărămizi rezistente (clincher), din plăci de fontă sau de oțel. Alegerea materialului se face în funcție de viteza de uzură sau de necesitățile de protecție. Pentru protecția împotriva temperaturilor ridicate se folosesc cărămizi refractare, așezate pe un strat de nisip ; cînd pardoseala este expusă la izbituri sau la uzură foarte pronunțată, se folosesc plăci de fontă sau de oțel turnat așezate, de asemenea, pe un strat de nisip de 4—5 cm grosime (fig. XVI.4). Protecția împotriva acțiunii unor acizi se poate realiza cu cărămizi de clincher sau cu cărămizi antiacide, dacă acțiunea acizilor este intensă.

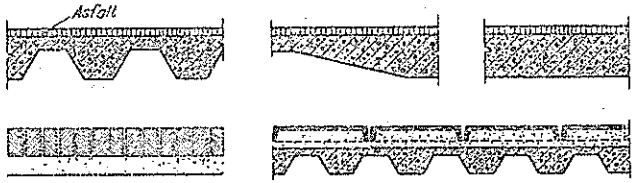


Fig. XVI.4. Straturi de protecție.

c. Grinzi de susținere

Planșeele platformelor sînt susținute de grinzi ; de obicei se folosesc rețele de grinzi, dispuse perpendicular unele pe altele. *Rețelele* pot fi *simple*, cînd sînt formate din grinzi paralele rezemate pe stîlpi sau pe un contur metalic, de zidărie sau de beton. Distanța *b* dintre grinzi depinde de alcătuirea planșeului și de încărcările pe care acestea le suportă. Rețeaua simplă de grinzi este avantajoasă cînd distanța *b* între grinzi este mare sau cînd deschiderea este mică. În general nu este economic să se folosească grinzi mari prea apropiate (fig. XVI.5). *Rețelele cu grinzi principale și grinzi secundare* au două categorii de grinzi, așezate perpendicular unele față de altele ; în felul acesta, grinzile cu deschidere mare, care sînt grinzi principale, pot fi așezate la distanțe mai mari. Grinzile principale pot avea una sau mai multe deschideri. Distanțele între grinzile secundare sînt determinate de alcătuirea planșeului.

Rețelele complexe, pe lîngă grinzi principale și grinzi secundare, perpendiculare pe cele principale, mai au și o altă categorie de grinzi secundare, paralele cu grinzile principale.

Sistemele menționate reprezintă tipurile caracteristice ; mai pot exista grinzi, în unele zone, dispuse sub un unghi oarecare, grinzi care mărginesc goluri etc.

Secțiunile grinzilor este preferabil să fie alcătuite cît mai simplu. Cele mai economice sînt grinzile alcătuite din profile dublu T laminate ; pentru secțiuni

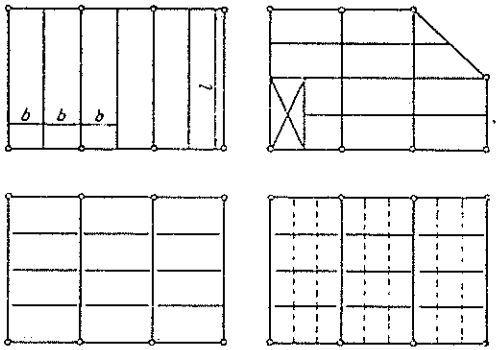


Fig. XVI.5. Rețele de grinzi.

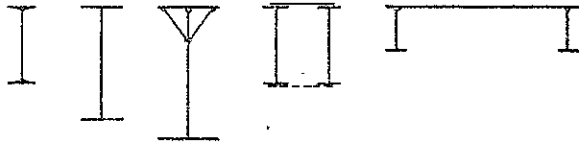


Fig. XVI.6. Secțiunile grinzilor.

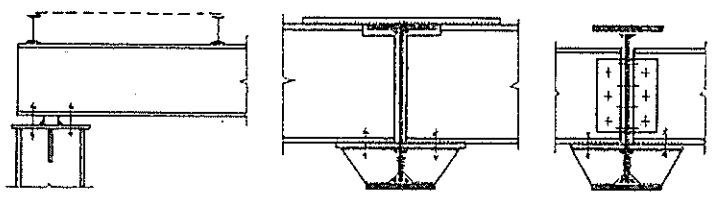


Fig. XVI.7. Așezarea grinzilor.

mari se fac grinzi cu inimă plină, de regulă sudate (fig. XVI.6). Pentru grinzile supuse la solicitări de răsucire sau cînd înălțimea liberă pentru construirea lor este mică, se folosesc grinzi compuse din două elemente dublu T alăturate ; aceste grinzi sînt însă mai puțin economice. Grinzile secundare pot fi tratate împreună cu placa planșeului, eliminîndu-se una din tălpile grinzii, ceea ce duce la soluții economice.

Așezarea și prinderea grinzilor se poate face în moduri diferite. Grinzile secundare pot fi așezate deasupra grinzilor principale ; aceasta este sistemul cel mai simplu de executat, cu manoperă puțină. Este necesară însă o înălțime mare de construcție (fig. XVI.7). Grinzile se pot așeza astfel încît tălpile superioare ale tuturor grinzilor să se afle la același nivel ; în acest caz, se obține o platformă mai rigidă. În cazul unor rapoarte convenabile între deschiderea grinzilor secundare și distanța dintre ele, se poate considera că pardoseala reazemă efectiv pe patru laturi, ceea ce este avantajos în special în cazul unor încărcări mari. Această așezare cere înălțimea de construcție cea mai mică. În cazul rețelelor complexe, grinzile secundare, dispuse perpendicular pe grinzile principale, pot fi așezate mai jos decît fața tălpii superioare ; grinzile paralele cu cele principale se așază peste primele grinzi secundare, cu fața superioară la același nivel cu fața superioară a grinzilor principale sau mai sus.

Prinderea grinzilor între ele trebuie să asigure transmiterea eforturilor și să îngăduie montarea ușoară a rețelelor de grinzi. Grinzile suprapuse se prind prin sudură și se împiedică răsturnarea lor prin legături din oțel lat. Înnădirea pentru solidarizare se face cu eclise, cînd grinzile sînt simplu rezemate pe o deschidere ; grinzile continue se înnădesc în afara reazemelor, la 0,2 l, cu o înnădire de continuitate sudată (fig. XVI.8). Grinzile așezate la același nivel reazemă prin intermediul unor scaune, alcătuite din corniere sau din plăci. Grinda secundară se decupează la partea superioară, pentru a putea prinde talpa grinzii principale sau se taie înclinat. Cînd se prind de aceeași grindă principală două grinzi secundare, una mai înaltă și alta mai joasă, se folosesc două scaune, la niveluri diferite, consolidîndu-se inima grinzii înalte cu plăcuțe lipite de inima grinzii principale ; se poate să se folosească sub grinda mai puțin înaltă un adaos, care racordează trecerea de la o grindă la alta.

Grinzile denivelate se așază, de asemenea, pe scaune și se prind de inima grinzii principale cu eclise prinse cu șuruburi sau cu eclise sudate ; în acest caz, una dintre eclise se ridică pînă la talpa grinzii principale pentru rigidizarea

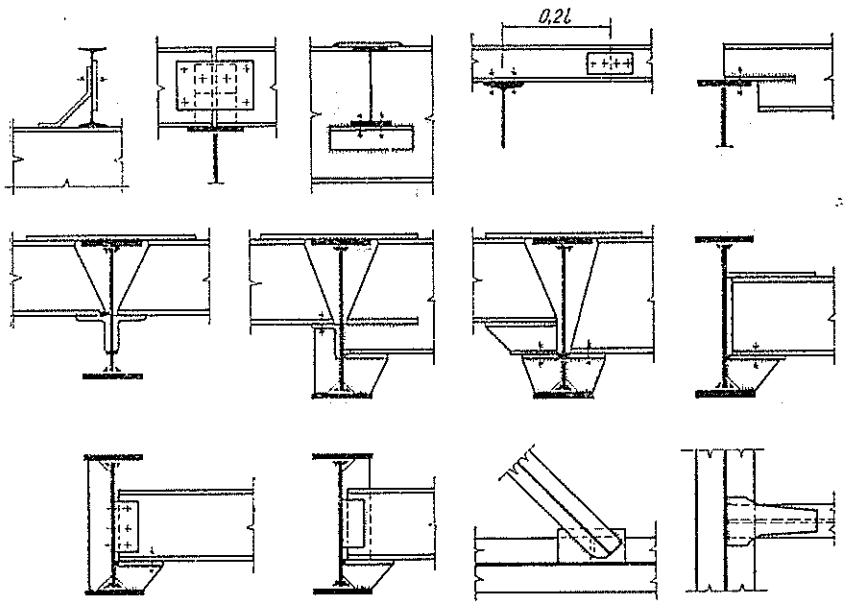


Fig. XVI.8. Prinderea grinzilor.

inimii. Se poate face prinderea și cu o placă orizontală, fixată de inima grinzii principale și de tabla grinzii secundare. Prinderea grinzilor înclinate se face cu scaun și cu eclise ; dacă unghiul intrînd este prea mic, se poate îndoi eclisa interioară.

d. Stîlpii platformelor

Platformele ușoare au stîlpii cu secțiunea alcătuită din profile dublu T sau din două corniere, sudate în formă de tub (fig. XVI.9). La platforme mai grele, stîlpii se fac din două profile U alăturate, sudate în lungul tălpilor sau se mărește secțiunea legîndu-se cele două profile cu două platbande. Pentru platforme mai grele se utilizează secțiuni cu inimă plină, sudate, sau

Fig. XVI.9. Secțiunile stîlpilor.

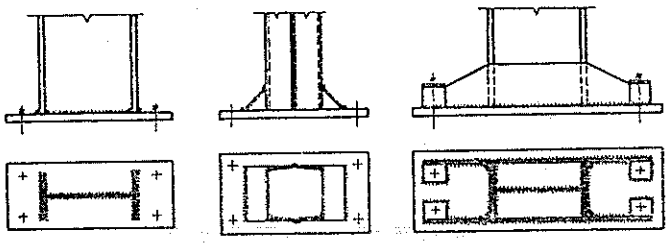


Fig. XVI.10. Bazele stîlpilor.

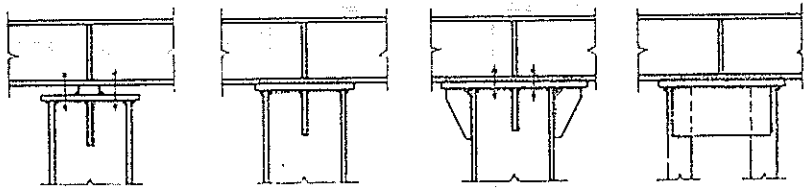


Fig. XVI.11. Prinderea grinzilor de stîlpi.

secțiuni alcătuite din elemente depărtate, solidarizate cu plăcuțe. *Bazele stîlpilor* sînt de obicei ușoare ; sînt formate dintr-o placă, avînd uneori și întăriturî, dacă placa iese mult în afara secțiunii stîlpului (fig. XVI.10).

Capetele stîlpilor se alcătuiesc în așa fel, încît legăturile dintre stîlpi și grinzi să se facă ușor. Cele mai simple legături se realizează prin așezarea grinzilor pe capetele stîlpilor, peste care se așază mai întîi niște plăci. Prinderea de stîlpi poate fi articulată sau rigidă (fig. XVI.11).

e. Contravîntuiri, balustrade

Legăturile între grinzi și stîlpi trebuie să asigure rigiditatea ansamblului platformei și să împiedice oscilațiile orizontale. La platforme ușoare rigiditatea necesară poate fi asigurată prin prinderea rigidă între stîlpi și grinzi ; la platformele mai grele se prevăd contrafișe, care pot fi scurte, dacă condițiile locale impun această soluție. Dacă platformele au de suportat solicitări orizontale mai mari, se prevăd contravîntuiri verticale cu diagonale încrucișate sau alte forme de contravîntuiri (fig. XVI.12). Contravîntuirile verticale se așază simetric într-o direcție și în alta, pentru a se evita efectele de răsucire ale platformei. Cînd planșeul platformei este rigid și poate asigura contravîntuirea orizontală, contravîntuirile verticale se așază în cîteva locuri ; în caz contrar, se prevăd contravîntuiri verticale la fiecare șir de stîlpi. Platformele, nelegate suficient prin planșee, au nevoie și de contravîntuiri orizontale, așezate sub planșeu.

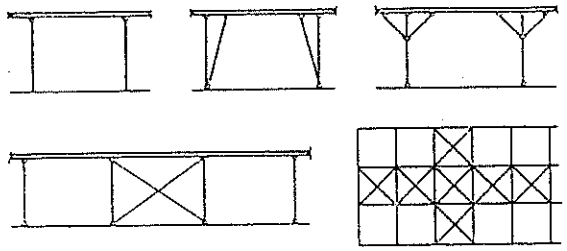


Fig. XVI.12. Contravîntuirile platformelor.

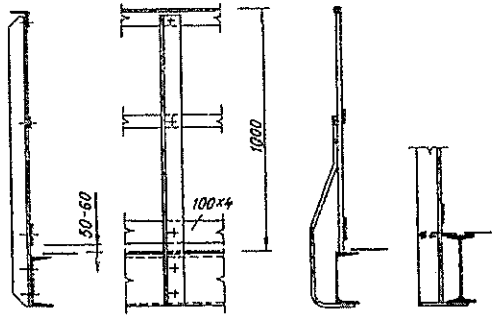


Fig. XVI.13. Balustrade.

La marginile platformelor se prevăd *balustrade* care au înălțimea de 1 m. Balustrada are la partea de sus o bară numită *mînă curentă*, care poate fi formată dintr-o cornieră, dintr-o țeavă sau din oțel rotund. Din distanță în distanță balustrada are stîlpi prinși de grinzile de la margini ale platformelor (fig. XVI.13). Pe intervalul dintre platformă și mîna curentă sînt așezate una sau două bare orizontale, care împiedică căderea oamenilor. Imediat deasupra platformei, la 50—60 mm, se așază o bară alcătuită dintr-o platbandă de cel puțin 100 mm, lățime, care are rolul să evite eventualele alunecări.

2. Calculul platformelor

a. Dimensionarea pardoselilor

Pardoselile din elemente rigide se calculează după regulile obișnuite. Un calcul deosebit se face pentru pardoselile din plăci plane subțiri. Aceste pardoseli fiind prinse de grinzi, se consideră ca elemente așezate pe reazeme fixe, deschiderea neputîndu-se modifica ; din această cauză sînt supuse la

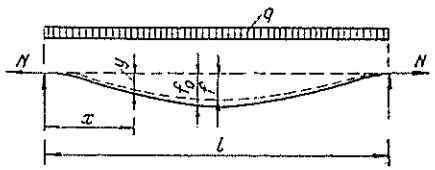


Fig. XVI.14. Solicitările platformelor.

încovoiere și la întindere. O placă, pe o singură deschidere, sub acțiunea unei încărcări uniform distribuite, se deformează după o curbă de forma

$$y = f \sin \frac{\pi x}{l}. \qquad \text{(XVI.1)}$$

Săgeata pe care o ia o grindă încărcată cu o încărcare uniform distribuită cu reazeme care nu permit deplasări după axa grinzii se poate admite : $f = f_0/(1 + \alpha)$, în care f_0 este săgeata pe care ar lua-o grinda dacă ar avea un reazem mobil, iar $\alpha = N/N_a$ (fig. XVI.14), N fiind efortul de întindere care se dezvoltă în tablă din cauză că reazemele nu se pot apropia ; N_a are expresia

$$N_a = \frac{\pi^2 EI}{(1-\mu^2)l^2}. \qquad \text{(XVI.2)}$$

Săgeata f_0 este

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI}(1 - \mu^2). \qquad \text{(XVI.3)}$$

Încovoierea produce o alungire a tablei ; exprimînd această alungire pe două căi, se poate stabili o relație care să dea valoarea coeficientului α.

Diferența dintre curba deformată și coarda ei este

$$\Delta l = \frac{1}{2}\int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx = \frac{f^2\pi^2}{2l^2}\int_0^l \cos^2\frac{\pi x}{l}\,dx = \frac{\pi^2 f^2}{4l} = \frac{\pi^2 f_0^2}{4l(1+\alpha)^2}. \qquad \text{(XVI.4)}$$

Din alungirea tablei sub efortul N rezultă

$$\Delta l = \frac{N(1-\mu^2)l}{El} = \frac{\pi^2 EI\alpha}{(1-\mu^2)l^2} \cdot \frac{(1-\mu^2)l}{El} = \frac{\pi^2 l^2\alpha}{12\,l}. \qquad \text{(XVI.5)}$$

Din egalarea celor două expresii se obține

$$\alpha(1+\alpha)^2 = 3f_0^2/l^2. \qquad \text{(XVI.6)}$$

Întinderea N dă în placă un efort unitar

$$\sigma' = \frac{N}{l} = \frac{\pi^2 EI\alpha}{(1-\mu^2)l^2 l}.$$

Momentul încovoietor maxim are valoarea $M = K\frac{ql^2}{8}$, în care K este un coeficient care introduce influența forței N asupra momentului rezultat din simplă rezemare și care depinde de α. Coeficientul K se poate exprima în funcție de $\frac{\pi}{2}\sqrt{\alpha}$ și valorile lui sînt date în tabelul XVI.1.

Tabelul XVI.1

$\frac{\pi}{2}\sqrt{\alpha}$	K	$\frac{\pi}{2}\sqrt{\alpha}$	K	$\frac{\pi}{2}\sqrt{\alpha}$	K	$\frac{\pi}{2}\sqrt{\alpha}$	K
0,0	1,000	2,0	0,370	5,0	0,080	8,0	0,030
0,5	0,900	3,0	0,200	6,0	0,055	9,0	0,025
1,0	0,705	4,0	0,120	7,0	0,040	10,0	0,020

Efortul unitar din încovoiere este

$$\sigma'' = \frac{6M}{l^2} = \frac{3ql^2}{4l^2}K. \qquad \text{(XVI.7)}$$

În total efortul unitar este $\sigma = \sigma' + \sigma''$.

Se recomandă ca și plăcile continue să se dimensioneze ca simplu rezemate pe o deschidere, deoarece, dacă eforturile unitare sînt depășite pe reazeme, se formează aici articulații plastice.

b. Elemente pentru calculul platformelor

Încărcările platformelor industriale sînt foarte diferite de la o categorie la alta. Unele platforme, care servesc numai pentru accesul personalului la diferite locuri de control pentru manevrarea unor vane sau întreținere au de suportat încărcări destul de mici cu oameni ; alte platforme au de suportat încărcări provenite din materialele care se folosesc la anumite puncte de lucru, care pot avea valori mari. Pe unele platforme se transportă lingouri sau diferite piese încălzite.

Cu ocazia revizuirii unor instalații sau utilaje, acestea se demontează parțial și elementele demontate se pot depozita pe platforme ; cu această ocazie se pot aduce piese și materiale noi, care pînă la punerea în operă se depozitează pe platforme.

Sînt platforme pe care circulă vehicule cu materiale, ca de exemplu cărucioare și chiar vagoane speciale.

Evaluarea încărcărilor trebuie făcută la proiectare, ținînd seamă de modul cum se desfășoară procesul de producție și exploatarea curentă. În cele mai multe cazuri proiectarea trebuie să stabilească și valorile coeficienților acțiunilor și în unele cazuri valorile coeficienților de simultaneitate, ale coeficienților dinamici etc. Se are în vedere că unele încărcări sînt frecvente, altele sînt mai puțin frecvente, dar pot avea o lungă durată.

Calculul elementelor care alcătuiesc structura de rezistență a platformelor, a prinderilor și îmbinărilor acestora se face după regulile obișnuite.

O atenție deosebită trebuie acordată asigurării stabilității platformelor, amplasării contravîntuirilor și determinării forțelor orizontale care vor solicita platforma.

3. Scări

a. Scări interioare

Pentru accesul la diferite platforme se folosesc scări metalice. Cînd înălțimea la care se găsește platforma este mică sau cînd scările sînt folosite rar, se fac scări cu înclinare mare, 60° sau 75° față de orizontală. Lățimea acestor scări este mică, 600—800 mm. Vangurile scării sînt alcătuite din profile U sau chiar din platbande. Treptele se fac din tablă striată cu marginile îndoite sau din lamele așezate cu intervale între ele (fig. XVI.15). Scările au balustrade din țeavă sau din oțel rotund. Vangurile se prind jos și sus cu șuruburi sau sudură. Distanțele între trepte se iau astfel încît urcarea să fie ușoară. Cînd înălțimile de urcat sînt mari sau cînd circulația este mai intensă, se fac scări cu înclinări normale. Între înălțimea treptelor și lățimea lor trebuie respectată relația $2h + b = 62...65$ cm.

La 15—20 trepte se prevăd podeste. Scările cu înclinare mică se contravîntuiesc pentru a se înlătura oscilațiile laterale.

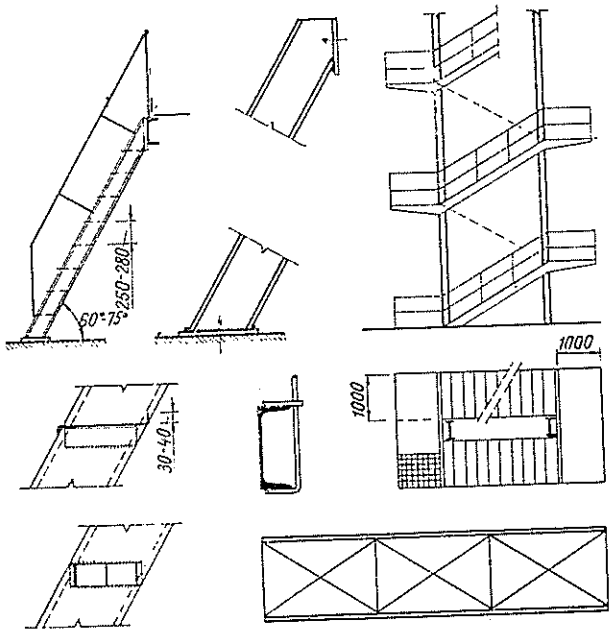


Fig. XVI.15. Scări interioare.

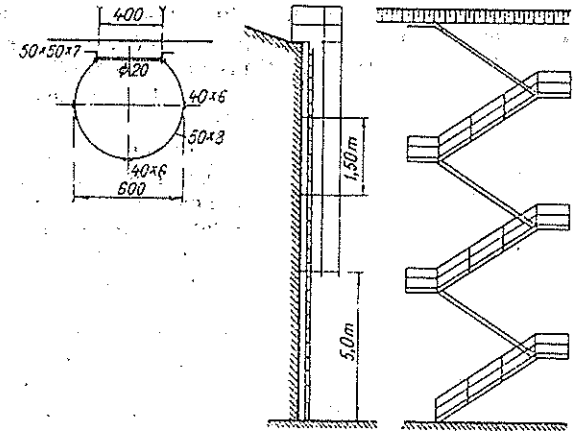


Fig. XVI.16. Scări exterioare.

b. Scări exterioare

Pentru accesul la platforme situate în aer liber se folosesc aceleași tipuri de scări ca și la interior ; este indicat ca treptele să fie executate din lamele, iar pardoseala podestelor din grătare, pentru a se evita alunecarea. Pentru urcarea pe acoperișul halelor se construiesc scări verticale, susținute de pereții frontoanelor sau de pereții laterali ; cînd aceste scări sînt mai înalte decît 5 m, se prevăd apărătoare (fig. XVI.16). La hale înalte este recomandabil să se execute scări înclinate cu platforme pentru odihnă. Înclinarea vangurilor în acest caz se poate lua 45°—60°.

XVII. Hale cu structuri din metal și beton armat

1. Considerații asupra soluțiilor mixte metal-beton

a. Avantajele soluțiilor metal-beton

Din punct de vedere tehnic, alcătuirea structurii unei hale industriale cu unele elemente din metal și altele din beton armat este rațională în multe cazuri ; asemenea soluții, în general, conduc la un consum de metal mai mic

decît în cazul soluției realizate integral din metal și la un cost mai redus.

Soluțiile cu structuri mixte din metal și beton armat sînt, de obicei, concepute cu stîlpi din beton armat prefabricați și cu șarpanta acoperișului din metal ; cînd în hală sînt poduri rulante, grinzile care susțin căile acestor poduri pot fi din beton armat sau din metal.

Aceste soluții au o aplicare foarte largă ; sînt totuși cazuri cînd folosirea structurilor alcătuite din elemente de metal și beton nu este indicată din diferite cauze : acțiunea agresivă a mediului nu îngăduie utilizarea elementelor de beton armat sau a metalului, temperaturi datorite tehnologiei de fabricație ridicate și neacceptabile pentru unul sau altul din materiale sau solicitări importante, variabile sau cu șocuri etc., care ar putea fi suportate mai avantajos de unul din materiale.

Adoptarea soluțiilor mixte metal-beton, în unele situații, necesită o analiză a condițiilor în care va fi exploatată construcția, analiză care va permite adoptarea unei soluții raționale : metal-beton, metal sau beton armat.

În practica de proiectare se folosesc astăzi unele criterii după care se adoptă soluțiile cu structuri din metal-beton.

Aceste criterii servesc pentru o orientare generală.

b. Domenii în care soluțiile din metal-beton sînt indicate

În cele ce urmează se prezintă unele situații în care soluțiile metal-beton pot fi preferate ; acestea nu constituie însă criterii riguroase, după care să se stabilească cînd se pot și cînd nu se pot adopta structuri pentru halele industriale alcătuite din metal și beton. Adoptarea unei astfel de soluții constituie o problemă de proiectare în cadrul căreia, pe baza unei analize ample, se poate stabili măsura în care cele două materiale, metal și beton armat, pot să fie folosite în condiții satisfăcătoare.

Soluții metal-beton pot fi indicate în următoarele cazuri :

— construcții de hale ușoare fără poduri rulante ;

— construcții de hale industriale care au mijloace de ridicare și transport obișnuite, susținute de șarpanta acoperișului ;

— hale industriale prevăzute cu poduri rulante ; cînd deschiderile grinzilor căilor de rulare sînt mai mari decît 12 m poate apărea avantajoasă folosirea grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante din metal ;

— hale cu deschideri mari cînd, în funcție și de alte elemente, soluția cu ferme metalice poate prezenta avantaje chiar de la deschideri sub 30 m ;

— hale industriale la care tehnologia de producție cere amenajarea unor spații tehnice susținute de fermele șarpantei acoperișului ;

Soluțiile metal-beton sînt discutabile sau nu prezintă avantaje în următoarele situații :

— hale cu condiții foarte grele de exploatare, cînd în hală sînt poduri rulante cu regim de funcționare greu, foarte greu și foarte greu continuu ;

— hale cu poduri rulante grele la înălțimi mari ;

— hale în care se desfășoară procese de producție care se prevede că pot suferi schimbări în viitor, care ar putea cere unele modificări sau consolidări ale structurii de rezistență a construcției ;

— hale în care, datorită proceselor tehnologice, se dezvoltă temperaturi locale mari, pe care stîlpii de beton armat nu le pot suporta, din cauza fenomenului de deshidratare sau a încălzirii diferite a fețelor unui element prin radiațiile unei surse de căldură apropiată ;

— hale în care sînt degajări agresive de vapori, gaze și unde unul din materiale, metal sau beton, nu este indicat.

— hale așezate pe terenuri sensibile la înmuiere, la care pot interveni tasări diferențiate mari, care impun să se facă unele corectări construcției la anumite intervale de timp.

Cazurile expuse nu sînt limitative și nici nu constituie criterii categorice. În asemenea situații la proiectare este însă necesar să se aibă în vedere consecințele ce vor rezulta în urma alegerii unei soluții necorespunzătoare.

2. Hale fără poduri rulante

Halele fără poduri rulante, avînd sau nu mijloace de transport suspendate de șarpanta acoperișului, sînt deseori rezolvate cu structură mixtă metal-beton. Stîlpii sînt din beton armat prefabricați și fermele din metal ; soluția, îndeosebi cînd fermele sînt din profile cu pereți subțiri formați la rece, este foarte avantajoasă ; adoptînd soluții de învelitoare ușoare consumul de metal este foarte redus.

Din punct de vedere static este indicată schema cu stîlpi încastrați în fundație și ferme legate articulat de stîlpi (fig. XVII.1) ; halele pot avea una sau mai multe deschideri. Alte rezolvări sînt arătate în fig. XVII.2, unde fermele metalice sînt cu console și stîlpii de beton armat și în fig. XVII.3, cu stîlpi din beton armat, grinzi metalice longitudinale și pane cu contrafișe ; în lungul grinzii este realizat un luminător.

În fig. XVII.4 este prezentată o soluție cu stîlpi de beton armat, grinzi longitudinale și ferme metalice, care în anumite situații poate prezenta avantaje. Soluțiile cu acoperișurile în formă de ședuri sînt deseori alcătuite cu o structură mixtă.

În fig. XVII.5 este arătată o soluție cu stîlpi de beton armat la intervale reduse, rețeaua stîlpilor fiind 12 × 6 m și fermele ședurilor metalice.

În cazul halelor cu acoperișuri la formă de șed este posibil să se realizeze spații interioare cu stîlpi rari. În fig. XVII.6 este arătată o soluție cu cadre longitudinale din beton armat și ședuri metalice. O altă soluție este prezentată în fig. XVII.7, unde ședurile sînt susținute de grinzi metalice, care sînt așezate pe stîlpi din beton armat.

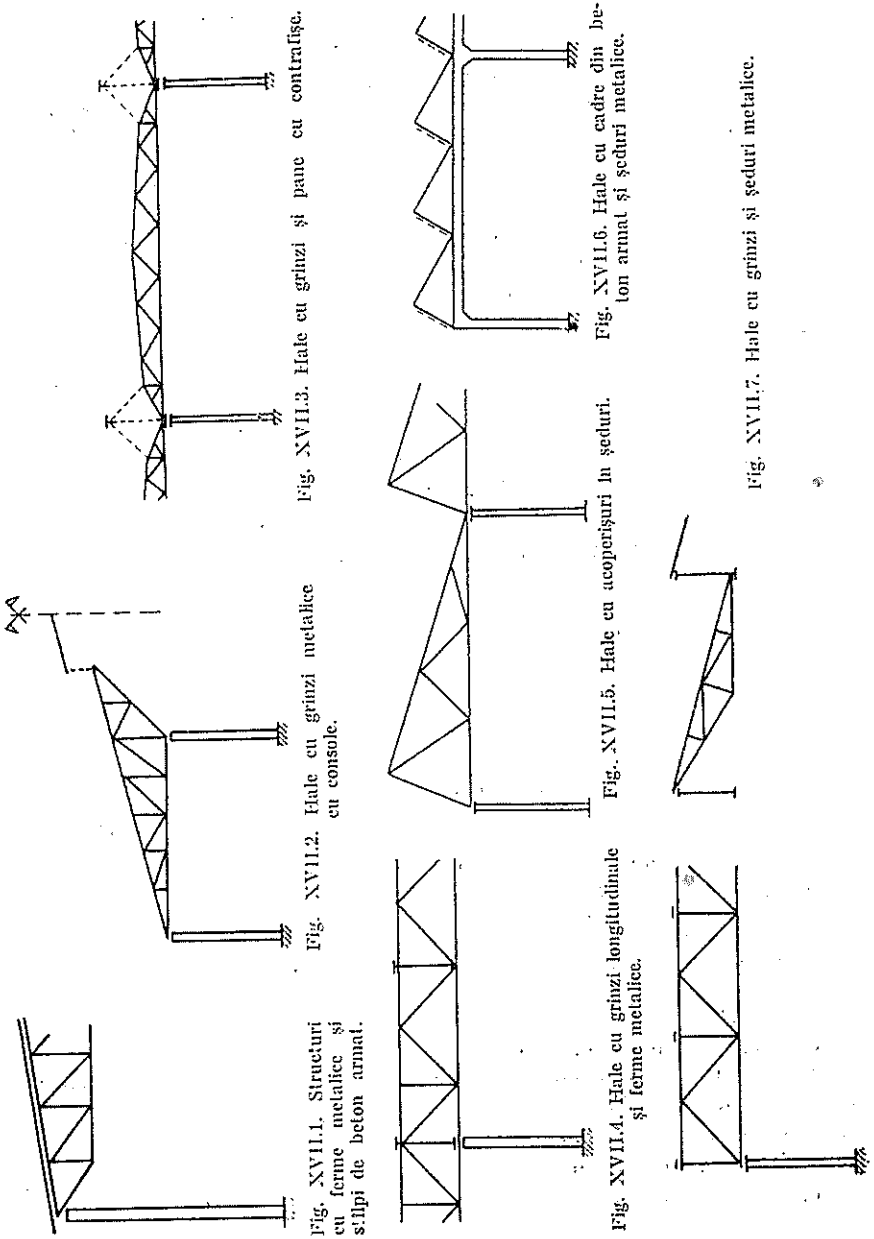


Fig. XVII.1. Structuri cu ferme metalice și stîlpi de beton armat.

Fig. XVII.2. Hale cu grinzi metalice cu console.

Fig. XVII.3. Hale cu grinzi și pane cu contrafișe.

Fig. XVII.4. Hale cu grinzi longitudinale și ferme metalice.

Fig. XVII.5. Hale cu acoperișuri în ședuri.

Fig. XVII.6. Hale cu cadre din beton armat și ședuri metalice.

Fig. XVII.7. Hale cu grinzi și ședuri metalice.

3. Hale cu poduri rulante

La halele industriale prevăzute cu poduri rulante, structura poate avea ferme metalice și stîlpii din beton armat ; grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante pot fi din beton armat sau din metal.

Stîlpii din beton armat sînt încastrați în fundație, legătura între ferme și stîlpi fiind, în general, articulată ; în unele cazuri se fac și legături rigide (fig. XVII.8). Pentru a se evita legătura rigidă dintre fermă și stîlpul de beton armat, care prezintă unele inconveniente, partea superioară a stîlpului de deasupra reazemelor grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante se confecționează din metal ; această soluție este adoptată în unele cazuri cînd și grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante sînt metalice, în scopul de a se simplifica și legăturile grinzilor cu stîlpii.

La halele cu stîlpi la distanțe mari în sens longitudinal se folosesc grinzi metalice longitudinale pentru susținerea fermelor intermediare.

Șarpanta acoperișului la halele industriale mixte este, în general, rezolvată ca și șarpanta halelor metalice ; contravîntuirea șarpantei acoperișului se face de asemenea ca la halele metalice.

La halele cu poduri rulante se prevăd portale metalice a căror alcătuire nu diferă de aceea de la halele metalice.

Grinzile de frînare ale grinzilor căilor podurilor rulante se fac metalice, cînd grinzile sînt metalice.

În dreptul stîlpilor trecerea pe pasarela de la nivelul căii grinzilor podurilor rulante se face printr-un spațiu amenajat între stîlp și gabaritul podurilor rulante ; această rezolvare prezintă inconvenientul că reduce deschiderea podurilor rulante. Ca și la stîlpii metalici se pot amenaja treceri prin goluri prevăzute în stîlpii de beton armat (fig. XVII.9).

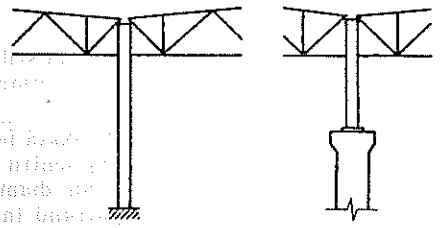


Fig. XVII.8. Hale cu ferme metalice legate rigid de stîlpi de beton armat.

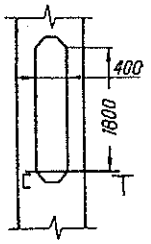


Fig. XVII.9. Goluri de trecere în stîlpi de beton armat.

4. Legături

a. Generalități

Legăturile dintre elementele metalice și cele din beton armat se pot concepe și executa în condiții care să dea legăturii, cu siguranța necesară, rolul prevăzut la proiectare. Pentru a se putea executa aceste legături la stîlpii de beton armat, de obicei prefabricați, se fac diverse amenajări și se prevăd plăci sau alte elemente care vor servi la efectuarea legăturilor la montaj; aceste elemente se fixează în stîlpi de la confecționarea lor. Sistemele de fixare a acestor elemente de stîlpi trebuie să fie alcătuite și dimensionate astfel încît să transmită stîlpului toate solicitările pe care le primesc de la construcția metalică de care se leagă.

Pentru a se putea monta ansamblul structurii alcătuite din elemente de beton armat și din metal sînt necesare unele măsuri, specifice acestor structuri, care se referă îndeosebi la măsuri care să asigure posibilitatea de a se face corect montajul și a se executa legăturile prevăzute în proiect, avîndu-se în vedere existența unor abateri normale.

Este recomandabil ca în desenele de execuție ale stîlpilor să fie precizate pozițiile elementelor metalice care se fixează pe stîlpi la confecționarea acestora, dimensiunile și abaterile limită admise, în raport cu un sistem de referință stabilit pentru montajul structurii.

La proiectare este indicat să se adopte modalități și sisteme de legătură care să nu fie dependente într-o măsură prea riguroasă de abaterile de execuție și de montaj; acestea trebuie să țină seama de abaterile de execuție admise pentru fiecare element și de cele acceptate la montajul ansamblului structurii. Unele dificultăți deosebite care apar la montaj sînt provenite de la abaterile neadmisibile la așezarea și montajul stîlpilor de beton armat și de la așezarea greșită pe stîlpi a pieselor de legătură cu alte elemente ale construcției.

b. Legătura între ferme și stîlpi

Fermele metalice este preferabil să rezeme pe capul superior al stîlpului de beton armat; în modul acesta forțele verticale provenind de la fermă trec direct la stîlp (fig. XVII.10).

Pe capătul stîlpului se așază o placă metalică pe care va fi fixată ferma. La confecționarea stîlpului se prevăd numai buloanele de ancoraj pentru prinderea plăcii; aceste buloane se introduc suficient în stîlp și au diametrul $d \geqslant 20$mm; dacă sînt sub formă de croșete, adîncimea pe care pătrund în stîlp poate fi de minimum 20 d. Placa se așază orizontal pe capul stîlpului pe un strat de mortar, după montarea stîlpului în poziția definitivă; găurile în placă sînt ceva mai mari, aproximativ 2 d, ceea ce ușurează montarea corectă a plăcii; între placă și piulițele buloanelor se introduc șaibe. Dimensiunile în plan

ale plăcii și poziția buloanelor vor fi astfel alese încît să permită așezarea și prinderea fermelor de plăci prin sudură (fig. XVII.10, *a*).

La hale cu ferme grele, care transmit la stîlp forțe verticale mari, rezemarea fermei pe stîlp se face prin intermediul unei plăci de centrare sudată de talpa fermei (fig. XVII.10, *b*); prinderea fermei de placa din capul stîlpului se face obișnuit cu două șuruburi sudate la montaj de placa pe care reazemă ferma; forțele orizontale transversale și longitudinale se transmit stîlpului prin placa de centrare la plăcile sudate de placa de capăt, ca la rezemările de la halele metalice.

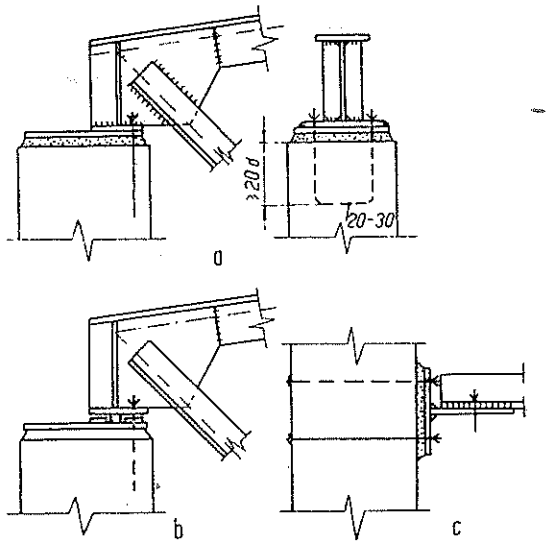


Fig. XVII.10. Prinderea fermei de stîlp.

Legăturile rigide între ferme și stîlpi se alcătuiesc folosind de obicei o rezemare pe capătul stîlpului la talpa superioară și o prindere la talpa inferioară (XVII.10, *c*); prinderea tălpii inferioare se face de un guseu în T, fixat de stîlp cu patru bare cu capetele filetate, înglobate în stîlp de la confecționare; prinderea barei tălpii de guseu la montaj se face cu sudură.

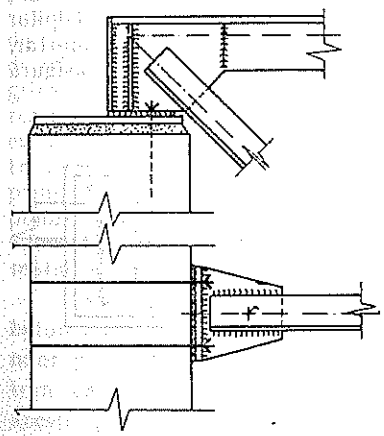


Fig. XVII.11. Prinderea grinzilor longitudinale de stîlpi.

Grinzile cu zăbrele longitudinale, de obicei simplu rezemate pe fiecare deschidere, se prind de stîlp, așezîndu-se reazemul tălpii superioare pe capul stîlpului; pe capul superior al stîlpului se așază o placă metalică care se fixează de stîlp ca în cazul prinderii fermelor; prinderea grinzii se face de placă prin sudură (fig. XVII.11)

Talpa inferioară se prinde de stîlp prin intermediul unui guseu în T; prinderea se face cu un șurub în găuri cu diametrul mai mare ca al șurubului.

Prinderea fermelor în dreptul stîlpilor și pe grinda longitudinală se face ca la grinzile metalice.

c. Legăturile grinzilor căilor podurilor rulante

Grinzile căilor podurilor rulante din beton armat se prind de stîlpii halei după regulile aplicate la construcțiile de hale din beton armat.

La grinzile căilor podurilor metalice așezate pe stîlpi de beton armat trebuie asigurate aceleași prinderi ca și la construcțiile halelor din metal: prinderea grinzii de partea din stîlp pe care reazemă grinda, prinderea tălpii superioare a grinzii și a grinzii de frînare de stîlp și prinderea inimii grinzii de stîlpi.

Pentru asigurarea unor prinderi corecte este necesar ca soluțiile adoptate să țină seama de abaterile admise la execuția și montajul stîlpilor. De la confecționarea stîlpilor pot rezulta unele poziții deplasate ale diferitelor plăci de prindere față de cele prevăzute în proiect; la montaj stîlpii pot avea față de poziția din proiect unele abateri pe înălțime și în plan, cum și rotiri în plan; aceste abateri nu pot depăși anumite limite, care este indicat să fie precizate prin proiect. La proiectare se pot adopta diferite soluții, în funcție de mărimea elementelor care se prind și de forțele care trebuie transmise prin prinderi.

Prinderea grinzii de partea din stîlp pe care reazemă grinda metalică se face prin intermediul unei plăci orizontale fixată de stîlp (fig. XVII.12). Barele care fixează placa de stîlp se montează de la confecționarea stîlpului; se prevăd de regulă patru bare cu diametrul de cel puțin 20 mm. Barele pot avea capătul filetat, dacă prinderea plăcii se face prin intermediul unor piulițe; prinderea se poate face însă și prin sudarea barelor de placa orizontală cu sudură în adîncime, în găuri care este preferabil să se dea la montaj, ținîndu-se seama de poziția barelor (fig. XVII.12, *a*).

Plăcile orizontale, fixate de stîlp, pe care va rezema grinda vor avea o grosime în funcție de dimensiunile lor în plan, preferabil cel puțin 18 mm; montarea și fixarea acestor plăci se va face la șantier după așezarea stîlpilor în poziția definitivă. Între placa și capul stîlpului se prevede un strat de mortar, care în condiții obișnuite are o grosime de 20—30 mm; prin aceasta se asigură

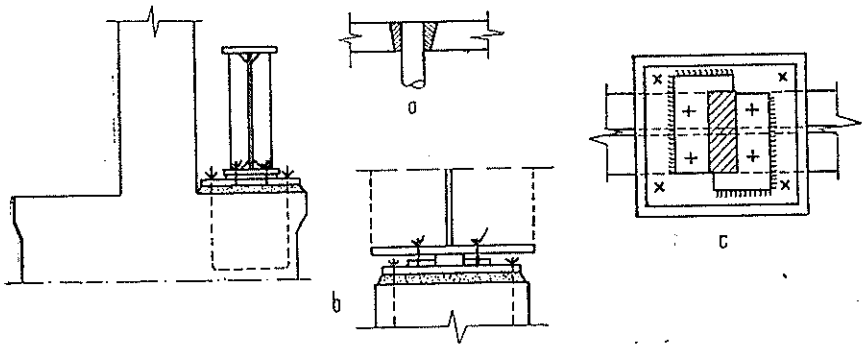


Fig. XVII.12. Prinderea grinzilor căilor podurilor rulante de stîlp.

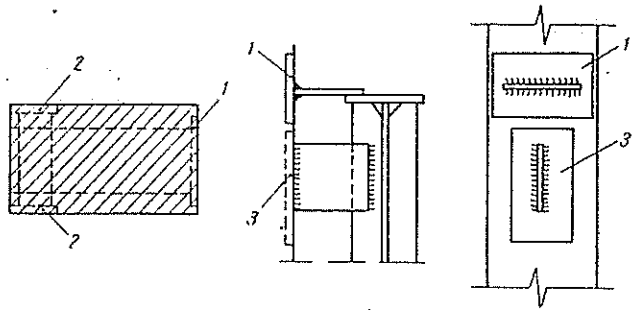


Fig. XVII.13. Prinderea tălpii superioare și a grinzii de frînare.

orizontalitatea plăcii și nivelul corect la care trebuie să se găsească fața su pe rioară a plăcii.

Grinda căii podurilor rulante reazemă pe placa fixată de stîlp prin plăci de centrare sudate de talpa grinzii și este prinsă de placa stîlpului cu două sau patru șuruburi, sudate de această placă; pentru a se împiedica deplasările transversale și longitudinale se prevăd plăci sudate de placa din capul stîlpului, după ce grinda a fost așezată în poziția corectă (fig. XVII.12, *b* și *c*).

Prinderea de stîlpul de beton armat a tălpii superioare a grinzii căii de rulare și a grinzii de frînare se face prin intermediul unor plăci așezate și fixate pe stîlp la confecționarea acestuia (fig. XVII.13).

Plăcile necesare, în general sînt: plăcile *1* de care se va fixa la montaj prin sudură o placă orizontală la nivelul tălpii superioare, de care se prinde talpa superioară a grinzii și grinda de frînare, plăcile *2*, de care se prinde la stîlpii de margine talpa grinzii de frînare și plăcile *3*, de care se prinde inima grinzii căii podurilor rulante (la grinzile mici acestea pot lipsi). Fixarea acestor plăci de stîlp se face cu bare rotunde, în număr și cu diametrul necesar transmiterii eforturilor pe care le primesc de la prindere. Prinderea elementelor grinzilor căilor podurilor rulante (talpa superioară, inima și grinzile de frînare) se execută ca în cazul construcțiilor metalice.

Prinderea portalelor metalice de stîlpii de beton armat se face de asemenea prin intermediul unor plăci fixate în stîlpi la confecționarea acestora cu un număr de bare corespunzător; de aceste plăci se prind la montaj gusee în poziția necesară, de care se prind barele portalelor (fig. XVII.14).

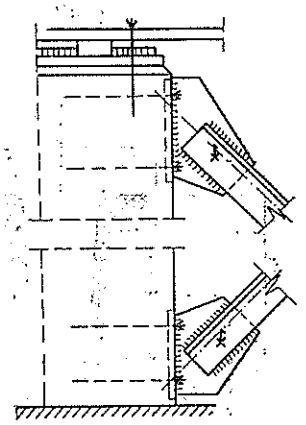


Fig. XVII.14. Prinderea portalelor.

d. Fundații

Stîlpii de beton armat ai halelor mixte sînt încastrați în fundații. Fundațiile au forme speciale (fundații pahar) în care se așază și se fixează stîlpii prefabricați.

Pentru hale ușoare, fixarea stîlpilor în fundații se face în mod obișnuit; la halele mai grele, fixarea este recomandabil să asigure o cît mai bună legătură între stîlpi și fundație. În acest scop, după ce stîlpul a fost montat și așezat în poziție definitivă, se umple bine cu mortar îndesat golul dintre stîlp și pereții golului fundației; se toarnă apoi un guler de beton armat, care, prin armăturile ce ies din blocul de fundații, asigură o bună încastrare a stîlpului în fundație (fig. XVII.15).

La halele care au partea stîlpului de deasupra reazemelor grinzilor căilor podurilor rulante din metal, apare o legătură între partea metalică și stîlpul de beton armat (fig. XVII.16). Prinderea stîlpului metalic de capătul stîlpului de beton armat se face ca la prinderea unui stîlp metalic de fundație, ținîndu-se seamă de solicitările pe care le are de transmis prinderea. Baza stîlpului se dezvoltă corespunzător valorilor acestor solicitări și în limitele spațiului dintre prinderile grinzilor căilor podurilor rulante. Baza stîlpului se așază pe un strat de mortar și se prinde cu patru buloane de ancoraj, al căror diametru, mai mare ca 30 mm, rezultă din calcule. Montarea stîlpului metalic este recomandabil să se facă după ce stîlpul de beton a fost ridicat și așezat în poziție definitivă; poziția stîlpului metalic trebuie să fie controlată cu atenție pentru a se evita greutăți ulterioare de montaj.

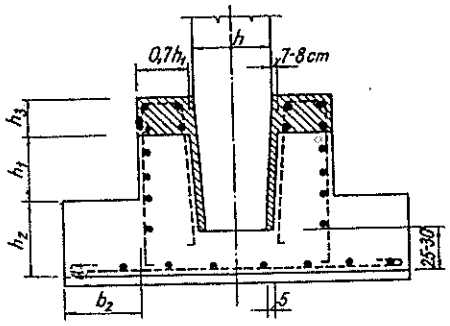


Fig. XVII.15. Fundații pentru stîlpi de beton armat.

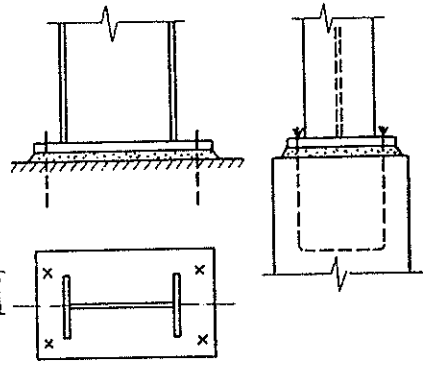


Fig. XVII.16. Legătura dintre stîlpul metalic și stîlpul de beton armat.

Partea a treia

CONSTRUCȚII METALICE INDUSTRIALE CU ETAJE

XVIII. Necesitatea și formele construcțiilor metalice industriale cu etaje

1. Considerații generale

a. Folosirea construcțiilor metalice cu etaje în industrie

În diferite domenii ale industriei există sectoare de producție care au o tehnologie de fabricație dezvoltată pe verticală; construcțiile în care se desfășoară asemenea procese sînt cu etaje. Multe din asemenea construcții se execută din beton armat; sînt însă cazuri cînd construcțiile au un număr foarte mare de etaje (10—15 etaje) și sînt astfel alcătuite, încît este avantajos să fie executate din metal. Alte construcții metalice cu etaje apar indicate acolo unde sînt utilaje grele, așezate la diferite etaje, din care unele dau vibrații puternice, acolo unde sînt procese tehnologice fierbinți sau alte condiții care conduc la alegerea soluției în metal.

Unele construcții industriale sînt închise, avînd pereți care protejează spațiul interior; altele, acolo unde utilajele tehnologice sînt montate în aer liber, sînt fără pereți sau au pereți pe unele porțiuni; au însă caracterul unor construcții cu etaje, cu mai multe paliere, susțin la diferite niveluri unele utilaje, instalații sau alte obiecte industriale speciale ca recipienți, buncăre etc.

Construcții metalice cu etaje se execută și în combinație cu hale de producție.

b. Domenii în care se folosesc construcții metalice industriale cu etaje

Construcțiile metalice cu etaje sînt astăzi folosite în cele mai diferite sectoare de activitate: magazine, birouri, locuințe, garaje etc.; construcțiile metalice industriale cu etaje sînt folosite din ce în ce mai mult și în sectorul de producție.

În industria siderurgică, la fabricile de aglomerare a minereului se utilizează construcții cu etaje metalice din cauza condițiilor grele în care sînt solicitate: au utilaje grele, procese tehnologice calde etc.

Construcțiile oțelăriilor care au convertizoare cu suflare cu oxigen au în zona convertizoarelor construcții metalice cu etaje care ating înălțimi de 50—60 m, și au utilaje și instalații foarte grele, care dau încărcări foarte mari verticale și orizontale.

Construcții metalice cu multe etaje, care ating înălțimi de 50—60 m, se întîlnesc în industria chimică, ca de exemplu la uzinele de sodă caustică, la halele de prăjirea piritei și altele.

În unele din aceste construcții există la nivelurile superioare încăperi fără stîlpi interiori, care sînt prevăzute cu unele poduri rulante.

Construcțiile unor centrale termoelectrice care folosesc cărbuni inferiori au clădirile principale cu schelet metalic înalte și cu porțiuni cu etaje.

În diferite sectoare industriale unele utilaje sînt așezate în aer liber; parte din aceste utilaje sînt montate la înălțime pe platforme susținute de stîlpi metalici; unele spații sînt închise total sau parțial; construcțiile care apar în aceste sectoare sînt construcții metalice cu etaje.

Construcții cu etaje sînt folosite în unele cazuri și în alte domenii cum este acela al industriei ușoare, unde utilajul și instalațiile sînt ușoare și tehnologia de fabricație este avantajos să se dezvolte pe înălțime. Sistematizarea urbană admite astăzi ca unele industrii care nu produc nocivități (zgomote, degajări de gaze, fum etc.) să fie așezate în anumite zone din centrele urbane; pot intra în această categorie industriile care produc bunuri îndeosebi pentru nevoile orașului.

Un asemenea procedeu are avantajul că reduce mult cheltuielile de investiții, rezolvă avantajos problemele de transport ale personalului etc.

2. Forma construcțiilor cu etaje

a. Forme în plan

Construcțiile metalice industriale cu etaj au în plan forme regulate, de obicei dreptunghiulare sau pătrate, care permit o rezolvare simplă (fig. XVIII.1); în diferite situații sînt adoptate și alte forme, în general din mai multe dreptunghiuri; o formă întîlnită uneori este în L (fig. XVIII.2).

Rețeaua de stîlpi este astfel alcătuită încît să rezulte grinzi și stîlpi de tipuri cît mai puțin diferite; rețeaua de stîlpi depinde însă de utilizarea pe

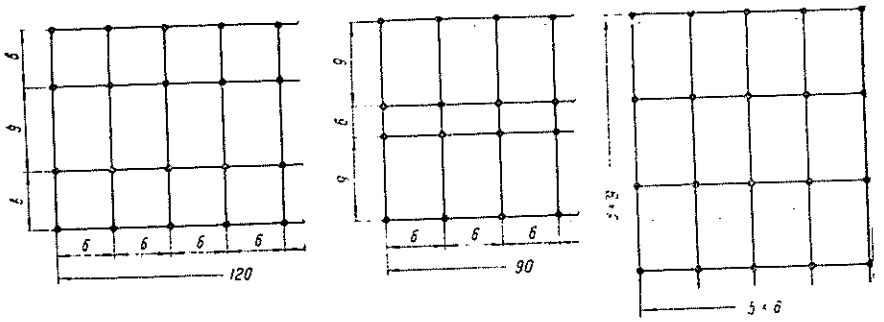


Fig. XVIII.1. Forme în plan ale construcțiilor metalice industriale cu etaje.

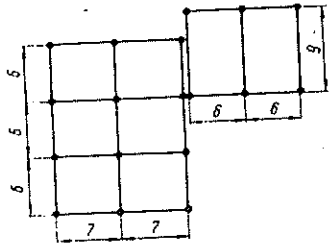


Fig. XVIII.2. Forme în plan, neregulate.

care o are construcția, de numărul de etaje, de încărcările pe care le suportă planșeele etc.

Consumul de oțel în structura de rezistență este sensibil influențat de distanța în plan la care se așază stîlpii; în general sînt avantajoase distanțe între 5 și 9 m.

Stîlpii, cînd este posibil, se așază la distanțe egale în ambele direcții, transversal și longitudinal, sau la distanțe diferite pe o direcție față de alta; în travеele de margine se adoptă uneori distanțe mai mici decît cele centrale. Poate apărea necesar ca în partea centrală să se așeze doi stîlpi mai apropiați, marcîndu-se astfel un culoar longitudinal de circulație.

La unele construcții metalice industriale cu etaje pe o parte din suprafața construcției pot lipsi stîlpii la unele intersecții ale rețelei, pot fi deplasați sau pot fi adoptate alte distanțe între stîlpii rețelei, impuse de așezarea utilajelor la diferite niveluri.

Construcțiile dreptunghiulare prea lungi, din cauza influenței variațiilor de temperatură, după modul cum sînt alcătuite structura și închiderea construcției, se separă prin rosturi de dilatare, care limitează lungimea la 70 pînă la 120 m.

La construcțiile cu forme neregulate în plan, cum sînt de exemplu cele în L, se fac rosturi de dilatare care separă cele două părți.

În zonele cu un grad de seismicitate ridicat, forma în plan a construcției trebuie să fie simetrică pentru a se limita fenomenul de răsucire ; cînd forma în plan este neregulată se fac și în acest caz rosturi între diferite părți ale construcției.

b. Forme în elevație

În elevație, construcțiile metalice industriale cu etaje au forme impuse de utilizarea care se dă spațiilor de la diferite niveluri (fig. XVIII.3). În general stîlpii se continuă pe toate etajele ; este însă posibil ca la ultimul etaj să fie suprimați unii stîlpi sau chiar toți stîlpii interiori. În unele cazuri sînt suprimați stîlpii și la alte etaje. Înălțimea diferitelor etaje este de ordinul a 4 m, la unele etaje putînd rezulta necesare înălțimi mai mari, de 5—6 m ; înălțimea ultimului etaj, unde pot fi așezate grinzi sau poduri rulante, poate ajunge la 9 m și chiar mai mult.

Construcția poate avea înălțimi diferite în lung ; în asemenea cazuri, cînd diferența de înălțime este mare, este recomandabil ca porțiunile denivelate să fie separate prin rosturi verticale.

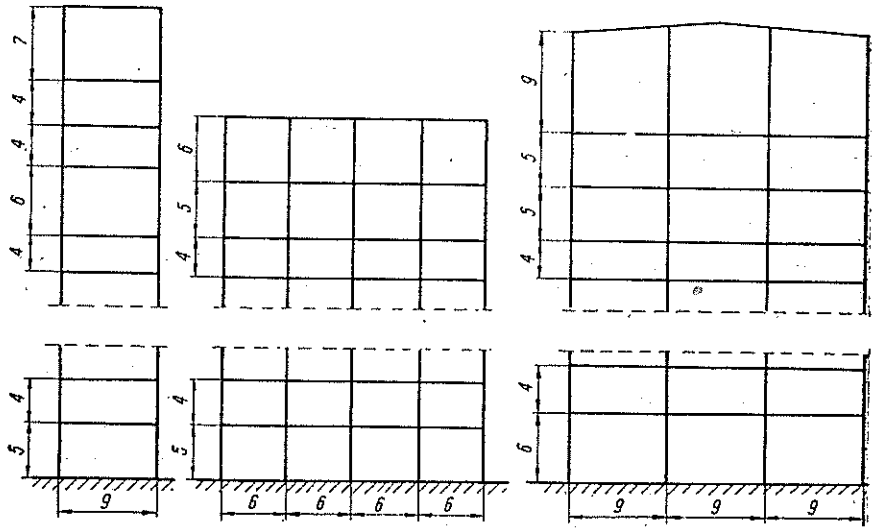


Fig. XVIII.3. Forme în elevație.

XIX. Alcătuirea și legăturile structurilor cu etaje

1. Alcătuirea structurii de rezistență

a. Structura transversală

Structura transversală de rezistență a construcțiilor metalice cu etaje poate fi rezolvată în mai multe moduri ; structură în cadre cu noduri rigide, sisteme avînd contravîntuiri verticale cu zăbrele și sisteme cu legături rigide și articulate.

Structurile în cadre cu noduri rigide (fig. XIX.1) au legăturile între rigle și stîlpi realizate astfel încît să suporte solicitările care rezultă din calculul structurii pe schema statică cu noduri rigide. Aceste structuri suportă în întregime și forțele orizontale la care este supusă construcția în sens transversal. În unele cazuri se adoptă soluții de structuri în care se introduc unele articulații, distribuite în mod convenabil (fig. XIX.2) ; se obțin structuri cu legături rigide și articulate. Astfel de structuri sînt raționale cînd numărul de etaje nu este prea mare și cînd raportul dintre deschiderea grinzilor și înălțimea etajului este bine ales ; în general rezultă grinzi cu înălțimi mici.

Structurile transversale cu contravîntuiri au contravîntuiri verticale cu zăbrele așezate în planurile verticale ale structurilor la diferite intervale (fig.XIX.3) ; aceste contravîntuiri au rolul de a suporta forțele orizontale care se exercită transversal construcției. Structurile transversale cu contravîntuiri verticale sînt indicate în cazul construcțiilor înalte, cu multe etaje mai ales cînd acestea au lățimi mici. Contravîntuirile verticale nu se așază la fiecare cadru

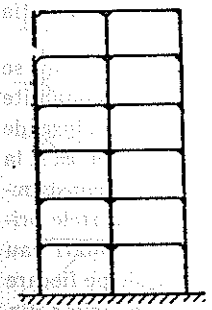


Fig. XIX.1. Structuri în cadre cu noduri rigide.

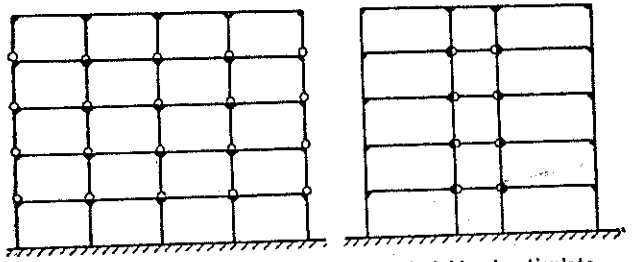


Fig. XIX.2. Structuri în cadre cu noduri rigide și articulate.

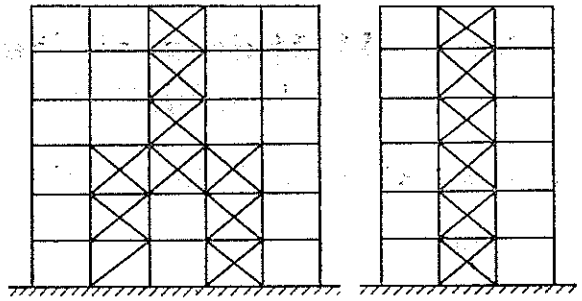


Fig. XIX.3. Structuri transversale cu contravîntuiri verticale.

transversal, forțele orizontale transversale construcției fiind transmise la cadre cu contravîntuiri verticale prin planșee sau prin contravîntuiri orizontale prevăzute la nivelul planșeelor. Legăturile între grinzi și stîlpi pot avea oarecare rigiditate sau pot fi articulate ; stîlpii pot fi continui pe două sau mai multe etaje ; grinzile pot fi independente pe fiecare deschidere sau pot fi continue pe toate deschiderile sau pe o parte din ele.

Structurile avînd contravîntuiri verticale cu zăbrele, bine folosite, asigură construcției o bună rigiditate.

b. Structura longitudinală

În sens longitudinal se realizează o serie de legături între structurile transversale, urmărindu-se să se dea ansamblului construcției o formă spațială.

Aceasta se obține prin grinzi longitudinale prevăzute pe șirurile longitudinale de stîlpi la fiecare palier și care sînt legate de stîlpi astfel încît să se realizeze cadre longitudinale, capabile să suporte acțiunile orizontale pe direcția longitudinală construcției.

La construcțiile înalte, cu multe etaje, se obțin rezultate mai bune dacă se introduc pe direcția longitudinală contravîntuiri verticale cu zăbrele în anumite locuri. Aceste contravîntuiri se așază astfel încît deformațiile produse de variațiile de temperatură să nu fie complet împiedicate ; în lungul halei, ca și la halele metalice, se așază contravîntuiri verticale la mijlocul lungimii construcției sau la mijlocul lungimii dintre două rosturi transversale ; cînd forțele orizontale la diferite paliere, acționînd în lungul construcției, sînt mari sau construcția este prea lungă se pot așeza două contravîntuiri verticale pe fiecare tronson de construcție, spre mijlocul tronsonului, la aproximativ o treime din lungime ; nu este indicat să se așeze contravîntuiri verticale la capetele construcțiilor lungi.

La construcțiile cu etaje contravîntuirile verticale se așază obișnuit în planul pereților longitudinali ; numai în cazul construcțiilor prea late se așază contravîntuiri verticale și pe unele șiruri de stîlpi interiori ; forțele orizontale longitudinale se transmit diferitelor contravîntuiri verticale prin planșee, dacă acestea au o alcătuire corespunzătoare, sau prin contravîntuiri orizontale așezate la nivelul planșeelor.

2. Contravîntuirile construcțiilor cu etaje

În general, la construcțiile metalice industriale planșeele se alcătuiesc astfel încît pot asigura o legătură între elementele verticale ale structurii, suficientă pentru a le transmite forțele orizontale. Cînd alcătuirea planșeelor este astfel încît nu pot îndeplini acest rol, se prevăd la nivelul planșeelor contravîntuiri metalice orizontale (fig. XIX.4), care se alcătuiesc astfel încît să transmită forțele orizontale transversale și longitudinale de la nivelul planșeelor la contravîntuirile verticale. Contravîntuirile au zăbrele simple sau încrucișate. La construcțiile înguste contravîntuirile pot fi așezate pe toată lățimea construcției ; la cele late sînt așezate pe unele fîșii longitudinale și transversale.

b. Contravîntuiri verticale

Contravîntuirile verticale sînt grinzi cu zăbrele la care ramurile verticale sînt stîlpii construcției, zăbrelele orizontale sînt grinzile planșeelor, iar diagonalele sînt formate din elemente noi ; sistemul de zăbrele poate fi dreptunghiular, triunghiular cu montanți suplimentari, în K sau cu diagonale încrucișate ; sistemul cu diagonale încrucișate, dimensionate și la compresiune, este cel mai rigid. Contravîntuirile verticale se așază la diferite distanțe, între doi stîlpi verticali, uneori între trei stîlpi.

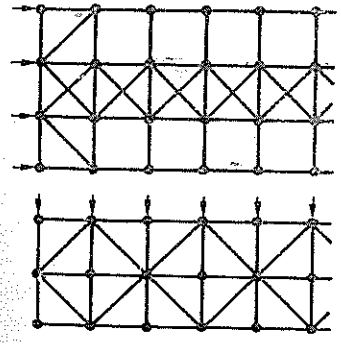


Fig. XIX.4. Contravîntuirile planșeelor.

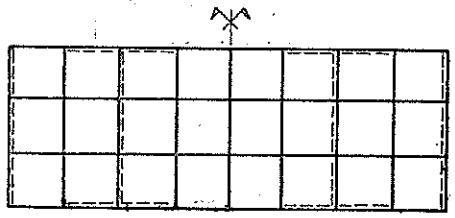


Fig. XIX.5. Așezarea contravîntuirilor verticale

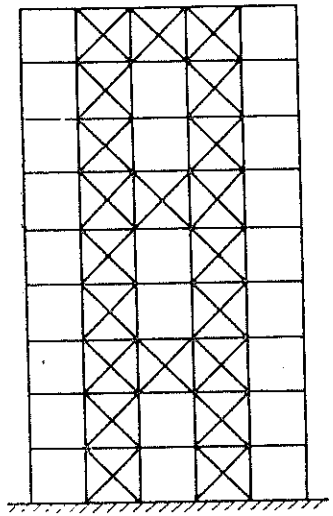


Fig. XIX.6. Legături orizontale între rigidizări.

În plan, contravîntuirile verticale sînt așezate astfel încît să se obțină o dispoziție simetrică pe cele două direcții principale ale planului construcției, atît din punct de vedere geometric cît și al rigidității (fig. XIX.5). Se urmărește ca rezultanta forțelor orizontale să treacă pe cît posibil mai aproape de axa verticală de rotație a construcției, pentru ca efectul de răsucire al construcției să fie cît mai mic.

Legarea contravîntuirilor verticale cu grinzi cu zăbrele orizontale așezate la diferite niveluri mărește rigiditatea construcției (fig. XIX.6).

3. Elementele structurii

a. Stîlpi

Stîlpii construcțiilor cu etaje au de suportat solicitări axiale mari; acestea pot fi aplicate excentric datorită modului în care se fac legăturile la diferite etaje; din forțe orizontale și din felul legăturilor dintre rigle și stîlp apar și solicitări de încovoiere, care sînt mai pronunțate la structurile cu noduri rigide.

Forma secțiunii stîlpilor este determinată de solicitările la care sînt supuși și de concepția de alcătuire a structurii de rezistență; secțiunile stîlpilor sînt variabile pe înălțime. La alegerea formei secțiunii stîlpilor se ține seama și de posibilitățile de înnădire a stîlpilor la diferite înălțimi. În fig. XIX.7 sînt arătate unele exemple de alcătuire a secțiunilor.

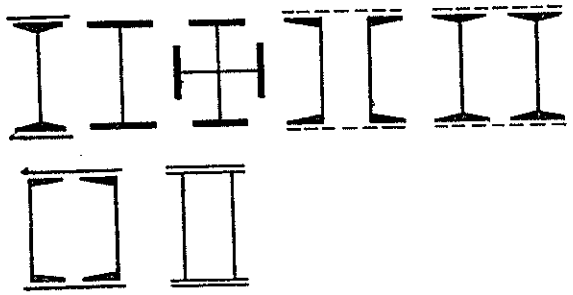


Fig. XIX.7. Secțiuni pentru stîlpi.

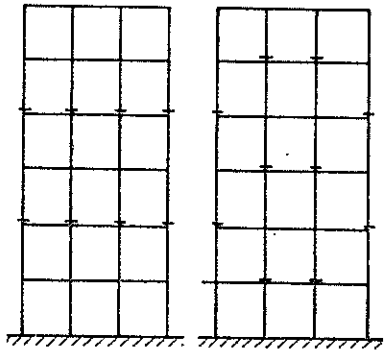


Fig. XIX.8. Pozițiile de înnădire a stîlpilor.

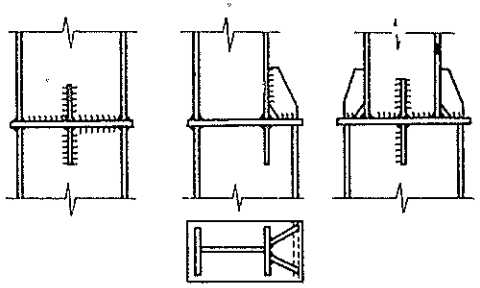


Fig. XIX.9. Înnădiri sudate.

Stîlpii construcțiilor cu etaje se pot îmbrăca în beton; prin aceasta stîlpii metalici sînt protejați împotriva efectelor incendiului și ale coroziunii; stîlpii tubulari pot fi umpluți cu beton, ceea ce mărește rigiditatea stîlpilor; cînd stîlpii se umplu cu beton se dau găuri din distanță în distanță pentru scurgerea apei la turnare și apoi pentru ieșirea apei și a vaporilor de apă în timpul întăririi betonului.

Rosturile de înnădire ale stîlpilor se așază obișnuit la 500—800 mm deasupra planșeului, la fiecare etaj sau la 2—3 etaje; stîlpii pot fi înnădiți toți pe același palier sau decalat pe paliere diferite (fig. XIX.8).

Înnădirile stîlpilor sudați se execută prin intermediul unei plăci care se așază pe capătul superior al stîlpului inferior; partea superioară a stîlpului se sudează de placă, folosindu-se și unele nervuri (fig. XIX.9). La montaj se folosesc șuruburi pentru prinderi provizorii și unele urechi sudate de cele două părți ale stîlpului.

Înnădirile sudate se pot executa și în alte moduri, după cum este arătat în fig. XIX.10. Se poate face o prindere directă trecînd tălpile părții superioare peste tălpile stîlpului de sus (fig. XIX.10, *a*); cînd există o diferență de înălțime între secțiunile stîlpului se poate face o racordare (fig. XIX.10,*b*); în acest caz inima stîlpului inferior nu se prinde cu sudură de tălpi la uzină, pe o lungime de aproximativ 200 mm, această prindere făcîndu-se la montaj. Cînd secțiunile diferă prin elemente adăugate (fig. XIX.10,*c*), elementele adăugate la tălpile stîlpului inferior se opresc înainte de înnădire.

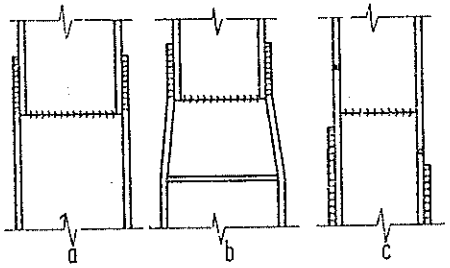


Fig. XIX.10. Înnădiri sudate fără placă de capăt.

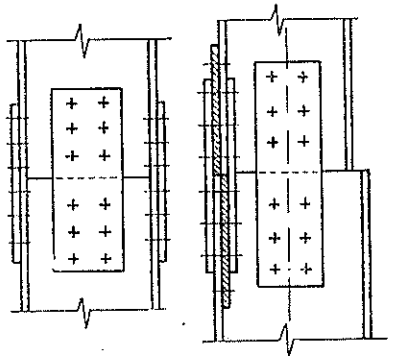


Fig. XIX.11. Înnădiri nituite sau cu șuruburi.

Înnădirile nituite sau cu șuruburi se fac prin intermediul unor eclise (fig. XIX.11).

Stîlpii alcătuiți din elemente depărtate se înnădesc în mod asemănător.

b. Grinzi

Grinzile planșeelor formează o rețea de grinzi principale și secundare; grinzile principale sînt așezate pe direcția transversală a clădirii și sînt prinse de stîlpi. Alte grinzi sînt dispuse în sens longitudinal clădirii și sînt prinse de asemenea de stîlpi. După modul de alcătuire a planșeelor și dacă distanțele între cadrele transversale sînt mari se introduc grinzi secundare, prinse de grinzile principale din axele cadrelor transversale. În locurile unde se prevăd între etaje scări și goluri pentru ascensoare, rețeaua de grinzi capătă forme corespunzătoare (fig. XIX.12).

Grinzile, obișnuit, au secțiunile cu inimă plină; în unele cazuri, în special cînd grinzile se betonează odată cu turnarea planșeului, se folosesc grinzi cu

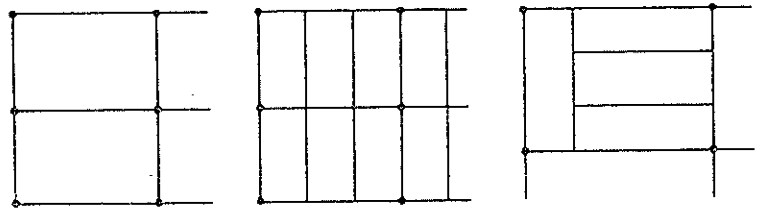


Fig. XIX.12. Rețele de grinzi.

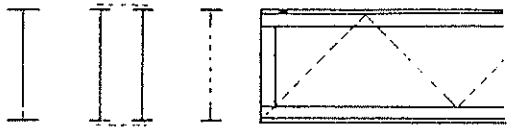


Fig. XIX.13. Secțiunile grinzilor.

zăbrele (fig. XIX.13). Grinzile, în general cu perete simplu, se fac cu perete dublu cînd deschiderile și încărcările sînt mari.

La alegerea formei și secțiunii grinzilor se ține seama și de modul cum acestea se vor prinde de stîlpi sau de alte grinzi.

c. Legăturile grinzilor cu stîlpii și cu alte grinzi

Legăturile între stîlpi și grinzi la construcțiile metalice cu etaje pun o serie de probleme de importanță deosebită.

Alcătuirea legăturilor trebuie să corespundă soluției constructive, schemei de calcul adoptate pentru structură și solicitărilor pe care prinderea trebuie să le suporte. Prinderile la montaj se fac prin sudare, cu șuruburi obișnuite sau cu șuruburi de înaltă rezistență.

Prinderea grinzilor prin sudare direct de stîlp se face mai rar; din cauza abaterilor de uzinare și montaj prinderea nu se poate executa corect. O prindere ușor de realizat la montaj se execută cu scaun și placă de prindere la talpa superioară (fig. XIX.14); cînd prinderea este articulată se poate renunța la placa superioară și se introduc eclise pe inimă, care se sudează la montaj.

O prindere rigidă la legătura dintre grinzi și stîlpi se poate realiza executîndu-se din uzină, sau eventual la șantier, capete de grinzi scurte prinse cu sudură de stîlpi; grinzile se prind de aceste capete prin sudură sau cu șuruburi de înaltă rezistență (fig. XIX.15).

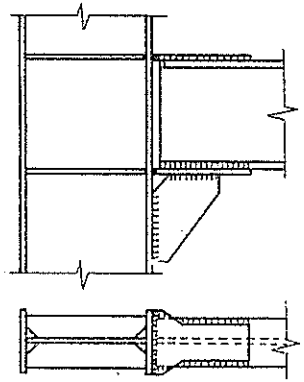


Fig. XIX.14. Prinderea grinzilor de stîlp cu scaun.

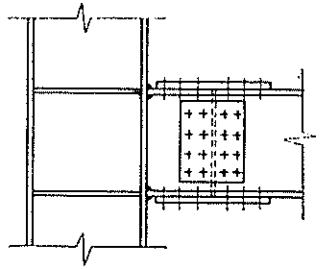


Fig. XIX.15. Prinderea de stîlp cu înnădirea grinzii.

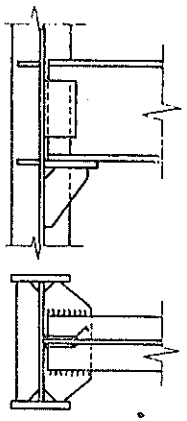


Fig. XIX.16. Prinderea grinzilor longitudinale.

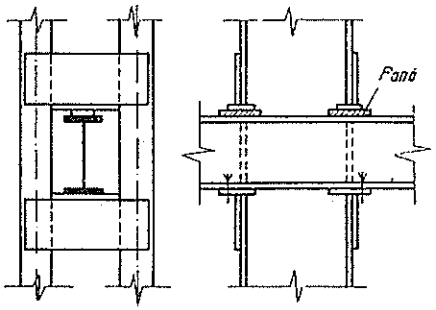


Fig. XIX.17. Prinderea grinzilor de stîlpi din elemente depărtate.

Grinzile longitudinale care se prind de inima stîlpului se așază pe scaune formate dintr-o rigidizare transversală cu întăriri, de care se sudează la montaj (fig. XIX.16); cînd prinderea de stîlp este echivalentă cu o articulație se prevăd numai eclise pe inimă; în cazul unei prinderi rigide se prevede o rigidizare care se așază la montaj pe talpa superioară a grinzii și care se prinde cu sudură de stîlp și de partea superioară a grinzii.

La construcțiile cu etaje cu stîlpi din elemente depărtate prinderea se poate face ca în fig. XIX.17; grinda se introduce printre elementele stîlpului și se încastrează, asigurîndu-se o bună rezemare pe plăcuțele întărite, care leagă elementele stîlpului deasupra și sub grindă; între grindă și plăcile superioare se lasă un interval în care se introduc pene.

Legătura între grinzile secundare și grinzile principale se face adoptîndu-se soluții cunoscute ținînd seama și de modul cum este alcătuit planșeul.

4. Planșee și pereți

a. Planșee

Planșeele construcțiilor industriale suportă încărcări mari; unele utilaje produc vibrații. Multe din procesele de producție instalate în construcții cu etaje dau încărcări de la 500 la 800 daN/m^2; în alte cazuri pot rezulta încărcări mai mari. Pe planșee sînt așezate utilaje sau instalații fixe, în unele cazuri grele, sau utilajele ocupă poziții care pot fi schimbate în timp. Cînd utilajele au poziții fixe, planșeele se rezolvă local corespunzător încărcărilor care le revin; în cele mai multe cazuri planșeul trebuie conceput și dimensionat să suporte încărcările care vor rezulta din modul în care se va face exploatarea.

Pentru încărcări mai mici se pot executa planșee din elemente prefabricate din beton armat. Elementele prefabricate este necesar să fie bine legate între ele și de grinzile metalice pe care reazemă; deasupra elementelor prefabricate se toarnă un strat de beton de 4—6 cm grosime, armat cu rețea de bare rotunde (6—8 mm diametru), legat de elementele prefabricate.

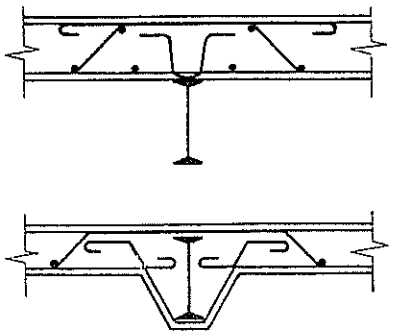


Fig. XIX.18. Planșee de beton armat.

Planșeele cu încărcări mari este indicat să se execute din beton armat turnat la fața locului, dimensionate corespunzător încărcărilor (fig.XIX.18). Placa de beton armat poate trece peste grinzile metalice sau acestea sînt și ele înglobate în beton.

O altă soluție constă în alcătuirea unei rețele de grinzi metalice care să suporte încărcările din timpul turnării planșeului, grinzile fiind total înglobate în beton; pentru încărcările finale, la dimensionare se consideră planșeul ca alcătuit din placă și grinzi cu armătură rigidă. O astfel de soluție nu este însă rațională decît în cazul cînd construcția are mai multe etaje și rețeaua de grinzi poate fi alcătuită suficient de uniform pentru a se utiliza cofraje, de preferință metalice, reutilizabile; cofrajele sînt susținute chiar de grinzile metalice.

În unele situații, pentru turnarea plăcilor este acceptabil să se folosească drept cofraje table cutate metalice, care pot servi și ca armătură.

b. Pereți

Pereții construcțiilor metalice industriale închid spațiul interior al clădirii la fiecare etaj, protejîndu-l contra intemperiilor; asigură climatul necesar activității oamenilor sau impus de condițiile de exploatare; la interior sînt folosiți pereți care compartimentează spațiul după necesitate.

Clădirile industriale cu etaje sînt de regulă încălzite; pereții exteriori trebuie să asigure și o izolare termică corespunzătoare. În prezent pereții exteriori se alcătuiesc din elemente prefabricate, în general finisate; există tendința ca acești pereți să fie alcătuiți din elemente combinate metalice, plastice, izolante. Pereții pot fi montați între stîlpii de margine și așezați pe planșee, stîlpii metalici rămînînd parțial în afara pereților; o altă soluție constă în a așeza pereții în fața stîlpilor, cînd apare rațională folosirea pereților cortină.

Pereții interiori este preferabil să fie alcătuiți din elemente ușoare și demontabili, îndeosebi cînd există probabilitatea de a fi modificată distribuția acestora.

5. Fundații

a. Considerații generale

Fundarea construcțiilor metalice cu etaje pune unele probleme specifice acestor construcții, care pot influența soluția și modul de fundare.

Terenul pe care se așază construcțiile cu multe etaje trebuie să aibă caracteristici bune de fundare care să permită o fundare directă sau prin folosirea a diferite procedee de fundare, cu siguranța necesară.

La construcțiile cu etaje sistemul de fundare trebuie să împiedice apariția tasărilor care ar conduce la înclinarea construcției față de verticală, peste limitele admise ; tasările, sub efectul încărcărilor sau al oricăror alte cauze, în diferite puncte ale planului construcțiilor nu pot prezenta diferențe mari ; tasările diferențiate, la astfel de construcții, nu pot depăși anumite limite, determinate și de alcătuirea construcției.

În general, în cazul construcțiilor metalice industriale cu multe etaje este recomandabil să fie evitate terenurile sensibile la înmuiere, cu tasări mari și diferite de la o zonă la alta, chiar pe suprafața ocupată de construcție. Dacă se impune așezarea unei construcții cu etaje pe un astfel de teren este necesar să se adopte măsuri care să asigure construcția contra degradărilor. Între acestea se pot enumera : reducerea numărului etajelor, adoptarea unor sisteme de fundare, cînd este posibil, pentru a scoate construcția de sub influențele terenului sensibil la înmuiere ; aceasta se poate face prin mijloace de fundare care străbat stratul de pămînt sensibil la înmuiere și permit fundarea construcției pe alte straturi de pămînt cu caracteristici corespunzătoare ; adoptarea în unele situații a mai multor rosturi de tasare care să limiteze efectele unor tasări în anumite zone poate constitui o soluție acceptabilă.

În cazurile în care în zona unde se așază construcția sînt umpluturi, este indicat să se evite fundarea directă pe umpluturi.

În regiunile în care se produc acțiuni seismice, construcțiile cu multe etaje, îndeosebi cele cu lățime mică, este necesar să fie bine încastrate în teren.

Soluțiile constructive și posibilitățile de fundare trebuie puse în concordanță unele cu altele, deoarece se influențează reciproc ; o soluție de ansamblu bună și rațională rezultă în urma unei analize atente.

b. Soluții de fundare

Construcțiile metalice industriale cu etaje care nu au subsoluri se fundează direct pe fundații la mică adîncime, pe piloți sau pe alte sisteme de fundare de adîncime. Cînd stratul pe care se poate funda este la mică adîncime și are caracteristici bune, în concordanță cu soluția constructivă, nivelul de fundare se coboară totuși pentru a se asigura construcției o oarecare încastrare în teren ; la construcțiile cu etaje cu lățime mică o pătrundere a fundației cu circa 3 m în pămînt apare suficientă. Fundațiile stîlpilor pot fi izolate ; în funcție de încărcările ce se transmit terenului și de distanțele între stîlpi poate fi rațională adoptarea unor fundații continue sub șirurile longitudinale și transversale de stîlpi. În unele cazuri, ținînd seama și de valorile caracteristicilor pămîntului, poate fi rațională fundarea pe radier general.

Multe din construcțiile metalice industriale cu etaje au și subsoluri prevăzute din considerații tehnologice pe unul sau chiar două niveluri ; la astfel de construcții partea cu subsol se execută din beton armat, pe care este așezată structura construcției metalice.

Subsolul construcției se fundează direct sau prin procedee de fundare de adîncime, dacă stratul bun de fundare este mai jos decît cota inferioară a subsolului. În cazurile în care pămîntul de sub sau din jurul subsolului are acțiuni agresive asupra betonului, pe lîngă măsurile corespunzătoare pentru executarea și protejarea betonului, este recomandabil ca sub radier și lateral pe întreg conturul subsolului să se înlocuiască pămîntul existent pe o grosime de aproximativ 1,0 m cu argilă bine compactată.

Subsolul unei construcții cu etaje poate fi general sau numai pe o parte din suprafața construcției ; părțile construcției fără subsol vor fi separate prin rosturi de cele care au subsol, adoptîndu-se pentru cele două situații sistemele de fundare indicate.

XX. Calculul construcțiilor metalice industriale cu etaje

1. Elemente pentru calcul

a. Acțiuni

Acțiunile la care sînt supuse construcțiile metalice industriale cu etaje sînt produse de :

— încărcări verticale care provin de la utilaje, instalații, materiale și piese, oameni și de la greutatea permanentă a elementelor construcției ; la unele etaje pot exista mijloace de ridicare și transport, cum sînt cărucioare rulante, grinzi rulante și chiar poduri rulante ;

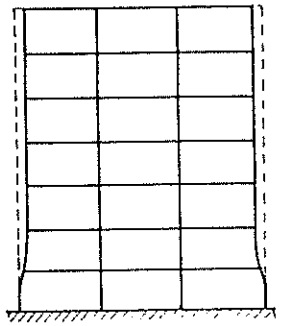


Fig. XX.1. Efectele variației de temperatură.

— forțe orizontale, pe care le produc unele utilaje; în această categorie intră și forțele date de vînt asupra construcției;

— variațiile de temperatură;

— mișcările seismice care se produc în zonele expuse la astfel de fenomene.

Stabilirea valorilor acțiunilor se face corespunzător prevederilor din standardele de acțiuni. Pentru unele acțiuni, rezultînd din diferite utilaje și instalații, valorile se determină la proiectare, pe baza elementelor din proiectul tehnologic. Reducerile de încărcări care se fac obișnuit la construcțiile civile înalte pentru calculul stîlpilor și fundațiilor nu se aplică și în cazul construcțiilor metalice industriale cu multe etaje; la astfel de construcții încărcările pot atinge în permanență valorile maxime la multe sau la toate etajele.

Variațiile de temperatură la construcțiile înalte au unele influențe specifice de care este necesar să se țină seama. La nivelul fundațiilor sau a părții subsolului de la nivelul terenului construcția metalică este practic fixă în timp ce părțile superioare ale construcției, expuse variațiilor de temperatură, au suficientă libertate de deformare; în partea inferioară a structurii, în general pe primele două niveluri, deformațiile nu mai sînt libere, ceea ce produce în elementele structurii solicitări suplimentare (fig. XX.1).

b. Scheme constructive și de calcul

Soluția constructivă pentru o construcție metalică industrială cu etaje se adoptă pe baza unei analize amănunțite a studiului tehnologic, care cuprinde procesele de producție care au loc la fiecare etaj și pe ansamblul construcției. Din acest studiu trebuie să rezulte pozițiile utilajelor și instalațiilor, sistemele de transport pentru alimentarea utilajelor și evacuarea produselor și altele. Se fixează pozițiile stîlpilor, deschiderile, travеele, putînd în unele cazuri, local, să fie necesare abateri de la rețeaua adoptată pentru ansamblul construcției. Înălțimile etajelor sînt determinate de considerații impuse de procesul de producție, de gabaritele unor utilaje etc.; pot rezulta aceleași înălțimi la toate nivelurile sau numai la unele.

Se stabilește forma structurii de rezistență care poate fi cu sau fără contravîntuiri verticale, se aleg soluțiile pentru planșee și pentru elementele de închidere.

Pentru a se ajunge la schema construcției, pe baza căreia se va dezvolta în continuare procesul de proiectare al construcției se precizează legăturile între elementele structurii și soluția de fundare.

După definitivarea schemei constructive, se alcătuiește schema statică pentru calculul eforturilor în structură; pot fi mai multe scheme statice dacă ansamblul conține unele structuri cu alcătuire diferită; sînt situații cînd pe schema statică este necesar să fie introduse legăturile cu fundațiile, cu particularitățile ce rezultă din sistemul de fundare.

În schemele de acțiuni, care servesc la efectuarea calculelor statice, se introduc diferitele posibilități de grupare care rezultă probabile din condițiile în care este exploatată construcția; se iau în considerare tasările și rotirile fundațiilor în măsura în care acestea sînt posibile.

2. Structuri în cadre

a. Generalități

Calculul structurilor metalice cu mai multe etaje, adică determinarea eforturilor de calcul în barele structurii, nu mai pune astăzi probleme greu de rezolvat de colectivele de proiectare.

În funcție de mărimea și importanța structurii, de gradul de nedeterminare și de mijloacele tehnice de calcul de care dispune colectivul respectiv se pot folosi metode de calcul aproximative, metode practice de calcul iterativ sau metode de calcul care utilizează calculatoare electronice.

Metodele de calcul aproximative au la bază o serie de simplificări prin eliminarea unor legături cu efecte secundare, prin neglijarea unor efecte de importanță redusă, prin neglijarea unor conlucrări spațiale, prin introducerea în schema de calcul a unor articulații, ținîndu-se seama de particularitățile cazurilor care se studiază. Metodele de calcul aproximative sînt acceptabile dacă rezultatele finale diferă de cele care ar fi determinate printr-un calcul exact în limite admisibile.

Metodele de calcul aproximative sînt folosite uneori pentru predimensionarea unei structuri, care apoi se calculează prin metode exacte, cum și la dimensionarea unor structuri simple.

Metodele de calcul iterativ, în diferite variante sînt încă folosite în măsură destul de mare la calculul construcțiilor cu multe etaje.

Folosirea calculatoarelor electronice scutește proiectantul de efectuarea calculelor numerice, de cele mai multe ori cu un volum foarte mare, astfel că acesta se poate ocupa în măsură mai mare de problemele de concepție, de alcătuirea și de rezolvarea detaliilor cerute de finalizarea părților constructive. Simplificările la care se recurge în alte metode de calcul nu mai sînt necesare aici sau se folosesc într-o măsură redusă, ceea ce permite obținerea unor scheme constructive mai raționale și a unor rezultate mai exacte și mai apropiate de modul de comportare a structurii.

Trebuie însă ținut seama că un calculator electronic execută numai operațiile de calcul care au fost precizate prin programul de calcul. Ca urmare, este necesar ca proiectantul să formuleze complet și clar problemele care urmează să fie rezolvate prin calcule la un calculator electronic.

În orice metode de calcul folosite pe altă cale, proiectantul urmărește evoluția calculelor, poate pe parcurs să-și dea seama dacă unele rezultate sînt în concordanță cu fenomenele reale și poate interveni, făcînd corectările cuvenite ; folosirea unor astfel de metode oferea deci proiectantului posibilitatea de a participa direct la analiza prin calcul a fenomenelor și de a verifica pe parcurs în suficientă măsură dacă ceea ce obține în final este corect.

În cazul utilizării calculatoarelor electronice proiectantul trebuie să examineze atent rezultatele finale ale calculelor, aceasta oferindu-i posibilitatea să tragă concluzii foarte utile în ceea ce privește siguranța, economia și eficiența soluției.

În tratatele de Statica construcțiilor și în alte lucrări de specialitate sînt expuse metode și posibilități pentru calculul eforturilor în diferite structuri cu utilizarea calculatoarelor electronice.

b. Calculul cadrelor prin metode aproximative

În unele situații se poate face determinarea eforturilor în barele structurii în cadre prin metode rapide, dar aproximative ; o astfel de cale poate fi necesară pentru predimensionare, după care se va face un calcul exact. În unele cazuri este posibilă în acest mod și o verificare ușoară și de comparare, sub anumite aspecte, a rezultatelor la care s-a ajuns prin utilizarea calculatoarelor electronice.

Determinarea eforturilor din încărcările verticale se poate face considerînd o singură deschidere încărcată ; barele din deschiderile alăturate și cele din etajele separate prin bara încărcată se admit fără încărcări și legate elastic la capetele opuse nodurilor la care vine și rigla încărcată (fig. XX.2). Pentru barele neîncărcate, punctele de moment nul se iau la $h/4$, respectiv $l/4$; cînd o bară este articulată la un capăt punctul de moment nul se ia în articulație, iar dacă este încastrată, la o treime de la încastrare.

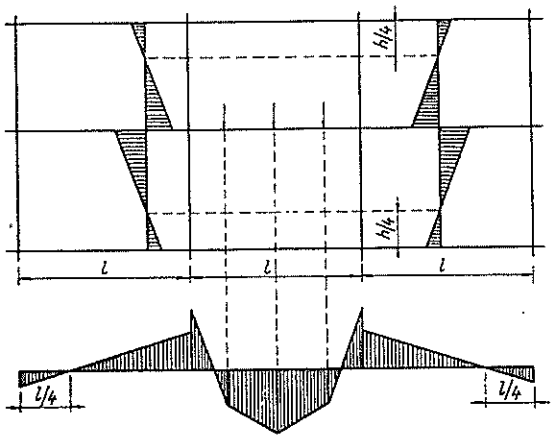


Fig. XX.2. Schemă pentru calculul în etape al cadrelor la încărcări verticale.

Bara care se verifică se consideră încastrată la capete (dacă nu este articulată la unul din capete în schema construc-

tivă) ; momentele de încastrare se distribuie barelor concurente la nod corespunzător rigidităților acestora.

După necesitate se procedează în mod analog în diferite deschideri de la același etaj și de la alte etaje, putîndu-se obține astfel dimensiunile pentru elementele cadrului care pot servi apoi la un calcul exact.

În cazul încărcărilor orizontale, eforturile orizontale se pot determina în sistemele în cadre cu aproximație, considerînd stîlpii cu legături rigide (fig. XX.3).

Momentul de inerție într-o secțiune orizontală la etajul k este

$$I_k = \Sigma A_i^k a_i^2 \qquad \text{(XX.1)}$$

în care A este aria secțiunii stîlpului i la etajul k și a_i distanța de la axa stîlpului i la axa neutră a ariilor grupului de stîlpi.

Efortul axial într-un stîlp m de la etajul k este

$$N_m^k = M \frac{A_m^k a_m}{I_k}. \qquad \text{(XX.2)}$$

Pentru calculul momentelor în barele cadrului se admit articulații la mijlocul riglelor și la mijlocul înălțimii stîlpilor, cu excepția stîlpilor fixați în fundații, unde articulația se consideră la 2/3 de la bază (fig. XX.4). Izolînd fiecare nod, cu barele limitate la punctele de moment nul, se obțin forțele tăietoare, încărcarea dată de vînt de sus pînă la etajul respectiv fiind consi-

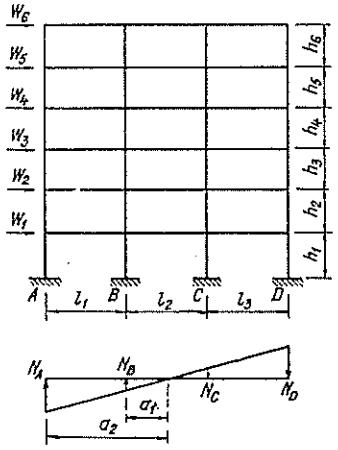


Fig. XX.3. Calculul eforturilor axiale în stîlpi din vînt.

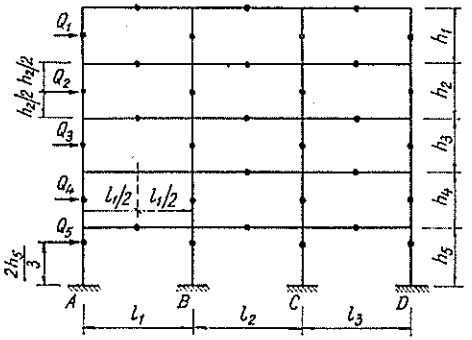


Fig. XX.4. Schemă pentru calculul momentelor din încărcări orizontale.

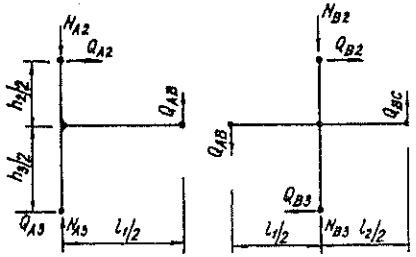


Fig. XX.5. Determinarea momentelor în capetele barelor.

derată ca aplicată în articulația stîlpilor respectivi (fig. XX.5). Eforturile axiale în stîlpi sînt cunoscute din calculul anterior. Calculul se face din aproape în aproape, începînd de la etajul superior. Pentru etajul 2 rezultă din proiecția pe verticală

$$Q_{AB} = N_{A3} - N_{A2}\,; \qquad (XX.3)$$

$$Q_{BC} = N_{B3} - N_{B2} - Q_{AB}\,;$$

din condiția de echilibru a nodului (momente)

$$Q_{A3} = \frac{Q_{AB}l_1 - Q_{A2}h_2}{h_3}; \qquad (XX.4)$$

$$Q_{B3} = \frac{Q_{AB}l_1 + Q_{BC}l_2 - Q_{B2}h_2}{h_3}$$

Cu aceste elemente se pot determina eforturile: momente, eforturi axiale și forțe tăietoare în stîlpi și rigle. Pentru fiecare etaj k este necesar să fie îndeplinită condiția

$$Q_k = \frac{\Sigma(M_s^k + M_i^k)}{h_k} \qquad (XX.5)$$

în care M_s^k și M_i^k sînt momentele la capătul superior și inferior al unui stîlp, suma cuprinzînd toți stîlpii etajului k.

Aproximația calculului este acceptabilă dacă eforturile din încărcările orizontale sînt sub 40% din cele date de încărcările verticale.

Se obține o aproximație mai bună dacă se suprimă articulațiile de pe rigle.

În acest caz, încărcarea exterioară orizontală Q_k se distribuie stîlpilor etajului proporțional cu rigiditatea lor, deci

$$Q_{Ak} = Q_k \frac{I_{Ak}}{I_{Ak} + I_{Bk} + \dots}; \quad Q_{Bk} = Q_k \frac{I_{Bk}}{I_{Ak} + I_{Bk} + \dots}. \qquad (XX.6)$$

Aceste forțe dau în stîlpi momentele

$$M_{Ak} = Q_{Ak}\frac{h_k}{2} \quad \text{și} \quad M_{Ak-1} = Q_{Ak-1}\frac{h_{k-1}}{2};$$

$$M_{Bk} + Q_{Bk}\frac{h_k}{2} \quad \text{și} \quad M_{Bk-1} = Q_{Bk-1}\frac{h_{k-1}}{2}. \qquad (XX.7)$$

Făcînd apoi distribuția și transmiterea momentelor pe fiecare cadru simplu, mărginit la articulațiile stîlpilor etajului de sus și de jos, se obțin momentele în capetele barelor; condiția (XX.5) trebuie să fie îndeplinită.

3. Structuri cu contravîntuiri verticale

a. Efectele așezării nesimetrice a contravîntuirilor

În cazul construcțiilor cu etaje și cu contravîntuiri verticale, cînd există planșee rigide sau contravîntuiri orizontale la nivelul planșeelor, se presupune că forțele orizontale se transmit prin planșee la contravîntuirile verticale. Se admite că fiecare planșeu se deplasează în planul său și repartizează forțele provenite din vînt contravîntuirilor verticale proporțional cu rigiditățile lor.

Contravîntuirile verticale pot fi cu zăbrele sau din pereți plini. În cazul în care contravîntuirile verticale au rigidități diferite sau sînt așezate nesimetric, diferitele etaje se deplasează sub acțiunea forțelor orizontale, paralel cu ele însele, și se rotesc în jurul unei axe verticale, care trece prin centrul de rotație. Pentru a elimina acest fenomen, este recomandabil să se prevadă contravîntuiri verticale, cu rigidități practic egale, care să fie așezate simetric; cînd nu se pot realiza astfel de contravîntuiri, se va urmări ca rezultanta presiunii vîntului să fie cît mai aproape de axa de rotație, pentru ca efectele de răsucire să fie cît mai reduse.

Prin rigiditatea unei contravîntuiri verticale, considerată încastrată în fundație, se înțelege forța orizontală care, aplicată contravîntuirii, produce o deplasare egală cu unitatea. Notînd cu H_1^y, H_2^y, $H_3^y \dots$, H_n^y rigiditățile diferitelor contravîntuiri paralele cu axa $y-y$, cu H_1^x, H_2^x, $H_3^x \dots$, H_n^x rigiditățile contravîntuirilor paralele cu axa $x-x$ și cu α_i raportul dintre rigiditatea contravîntuirii i și rigiditatea H_0 a contravîntuirii celei mai slabe, adică $\alpha_i = H_i/H_0$, se poate scrie pentru o contravîntuire oarecare, $H_0 = \alpha_i H_0$.

Considerînd că deplasările sînt elastice și că deplasarea planșeelor se face paralel, rezultanta forțelor diferitelor etaje se distribuie numai contravîntuirilor verticale, paralele cu rezultanta forțelor orizontale și proporțional cu rigiditățile lor.

Astfel se obțin încărcările:

— pentru direcția $x-x$

$$N'_n = R^x \frac{H_n^x}{H_i^x} = R^x \frac{\alpha_i^x}{\Sigma\alpha_i}; \qquad (XX.8)$$

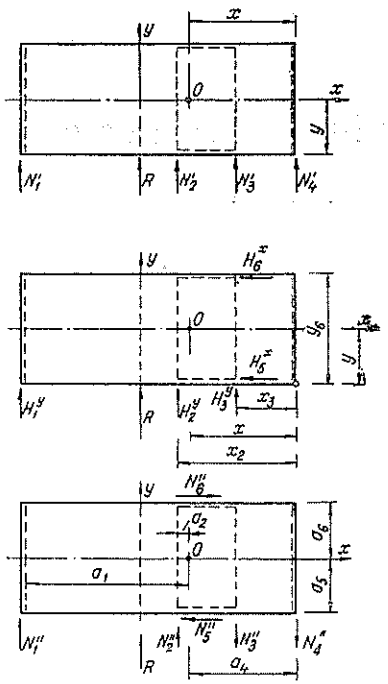


Fig. XX.6. Solicitările contravîntuirilor verticale.

— pentru direcția $y-y$

$$N'_n = R^y \frac{\alpha_n^y}{\Sigma \alpha_i};$$

în relațiile (XX.8) R^x și R^y sînt rezultantele forțelor orizontale după direcțiile x și y.

Din răsucirea construcției în jurul axei de rotație, toate contravîntuirile verticale se încarcă cu forțe N'' (fig. XX.6.)

Axa de răsucire trece printr-un punct O, din planul clădirii, care se află la intersecția rezultantelor forțelor care produc deplasările unitare ale contravîntuirilor de pe cele două direcții. Coordonatele acestui punct față de un punct A rezultă din relațiile

$$H_1^y x_1 + H_2^y x_2 + \ldots H_n^y x_n = x \Sigma H_i^y \text{ și}$$

$$H_1^x y_1 + H_2^x y_2 + \ldots H_n^x y_n = y \Sigma H_i^x,$$

de unde:

$$x = \frac{\Sigma H_i^y x_i}{\Sigma H_i^y} = \frac{\Sigma \alpha_i^y x_i}{\Sigma \alpha_i^y} \text{ și } y = \frac{\Sigma \alpha_i^x y_i}{\Sigma \alpha_i^x}. \quad \text{(XX.9)}$$

Dacă rezultanta forțelor orizontale nu trece prin centrul O, apar momente care răsucesc clădirea; valoarea acestor momente este

$$M_x = R^x e_y, \text{ respectiv } M_y = R^y e_x. \quad \text{(XX.10)}$$

În contravîntuirile verticale, datorită acestor momente de răsucire, se dezvoltă încărcări N''. Deplasările fiind mici, o contravîntuire oarecare i se încarcă proporțional cu rigiditatea ei și cu distanța la axa de răsucire.

Considerînd încărcarea unei contravîntuiri verticale, situată la distanța $a = 1$ de centrul de răsucire, egală cu N_0'', o contravîntuire situată la distanța a_i, cu aceeași rigiditate, se va încărca cu $N_i'' = a_i N_0''$; dacă rigiditatea contravîntuirii verticale este însă $H_i = \alpha_i H_0$, ea va avea o încărcare egală cu

$$N_i'' = \alpha_i a_i N''_0. \quad \text{(XX.11)}$$

Momentul forțelor de încărcare al tuturor contravîntuirilor față de punctul O este

$$M = Re = N_0'' \Sigma \alpha_i a_i^2 \quad \text{(XX.12)}$$

de unde:

$$N_0'' = \frac{M}{\Sigma \alpha_i a_i^2}.$$

Înlocuind în relația (XX.11) se obține

$$N_i'' = M \frac{\alpha_i a_i}{\Sigma \alpha_i a_i^2} \quad \text{(XX.13)}$$

Încărcarea unei contravîntuiri n cu rigiditatea $\alpha_n H_0$, situată la distanța a_n, va fi

$$N_n'' = M \frac{\alpha_n a_n}{\Sigma \alpha_i a_i^2}. \quad \text{(XX.14)}$$

În total, în contravîntuirea n va rezulta din forțele orizontale o încărcare $N_n = N_n' + N_n''$.

Contravîntuirile verticale se calculează la aceste încărcări, determinate pe fiecare etaj, considerînd că vîntul are o direcție sau alta, paralelă cu planul contravîntuirilor a căror încărcare se determină.

În cazul în care, în locul unor contravîntuiri verticale plane, sînt prevăzute turnuri sau grupuri rigide în unul sau mai multe locuri din planul clădirii, forțele orizontale se transmit acestor turnuri, de asemenea proporțional cu rigiditatea lor; cînd între centrul de răsucire și direcția rezultantei este o distanță sensibilă, se ține seama și de efectul de răsucire.

b. Calculul contravîntuirilor verticale

Contravîntuirile verticale cu zăbrele sînt grinzi cu zăbrele, încastrate în fundații. Cînd într-un perete se află o contravîntuire simplă, aceasta reprezintă o consolă cu zăbrele, care se calculează considerîndu-se nodurile articulate. O contravîntuire mai complexă, dezvoltată pe întregul perete, se calculează la fel, eventualele contravîntuiri locale, care întăresc stîlpii între nodurile contravîntuirii principale, fiind considerate în ansamblu ca simple bare articulate la capete (fig. XX.7). Contravîntuirile verticale, formate din două sau din mai multe ramuri verticale, legate prin grinzi cu zăbrele la diferite niveluri, se consideră ca un cadru încastrat în fundație. Determinarea eforturilor se poate face introducîndu-se unele aproximații. Se consideră cadrul format din bare cu secțiune plină cu rigiditatea echivalentă cu aceea a cadrului cu zăbrele și se admite că la mijlocul riglelor orizontale momentul este nul. Se determină valoarea forțelor tăietoare la mijlocul riglelor. Cadrul se separă pe ramuri

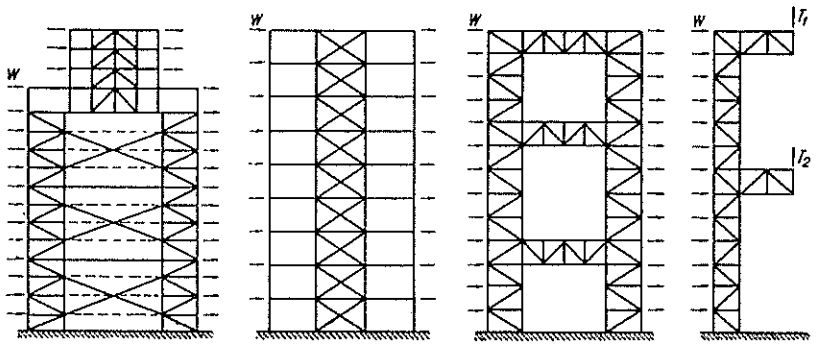


Fig. XX.7. Scheme cu solicitările contravîntuirilor.

verticale și fiecare ramură se calculează ca o consolă cu zăbrele încastrată în fundații, care, în afară de forțele orizontale, are și forțe tăietoare determinate din considerarea cadrului în ansamblu.

c. Eforturi suplimentare în zăbrele

Zăbrelele sistemelor de contravîntuiri verticale pot fi diferite; la alegerea lor însă trebuie să se țină seama că, dat fiind înălțimea stîlpilor pînă la etajul considerat și importanța eforturilor axiale din stîlpii care formează tălpile contravîntuirii, diagonalele primesc și eforturi de compresiune datorită scurtării stîlpilor. Astfel, la un sistem cu diagonale încrucișate, în diagonale apare un efort unitar σ_d care se deduce din scurtarea stîlpului sub efortul axial N_s (fig. XX.8). Scurtarea stîlpului este

$$\Delta s = \frac{N_s}{EA_s} h = \frac{\sigma_s}{E} h.$$

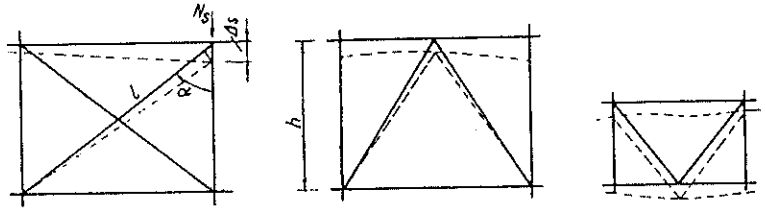


Fig. XX.8. Scurtarea diagonalelor.

Acestei scurtări îi corespunde o scurtare a diagonalei $\Delta d = \Delta s \cos \alpha$; înlocuind și ținînd seama că $l = h/\cos \alpha$, se obține efortul unitar

$$\sigma_d = \frac{\Delta s \cos^2 \alpha}{h} E = \sigma_s \cos^2 \alpha. \qquad \text{(XX.15)}$$

Importanța acestui efort se vede imediat, dacă se ține seama că practic $\cos^2 \alpha$ are aproximativ valoarea 0,5 (unghiul $\alpha \approx 45°$).

Pentru aceste motive, diagonalele încrucișate se calculează la eforturile reale și nu se admite să se considere numai diagonale întinse care ar flamba sub acțiunea eforturilor unitare σ_d de compresiune și n-ar intra imediat în acțiune la apariția forțelor orizontale. Ar rezulta mai întîi o deplasare orizontală și abia după aceea ar intra în acțiune diagonalele întinse, ceea ce nu este admisibil.

Față de direcția stîlpilor, unghiul diagonalelor nu trebuie să fie nici prea mic și nici prea mare. În primul caz, diagonalele se încarcă prea mult din scurtarea stîlpilor, iar în al doilea caz, ele permit deplasări mari pe orizontală; cea mai bună înclinare este aceea în jurul a 45°. Cînd nu se pot obține unghiuri convenabile, se schimbă sistemul de zăbrele sau se prevăd diagonale pe două etaje. Uneori se adoptă diagonale în K; se recomandă ca aceste diagonale să fie așezate astfel încît planșeul să nu se deformeze sub influența scurtării stîlpilor.

Diagonalele în sistem dreptunghiular sau triunghiular, care trebuie să fie dimensionate la compresiune pentru întregul efort al unui etaj, sînt rigide și necesită un consum de metal mai ridicat.

4. Verificarea legăturilor între grindă și stîlp

a. Generalități

La structurile în cadru legătura între rigle și stîlpi este în general rigidă; unele legături pot fi însă articulate. Verificarea acestor legături se face ținînd seama de caracterul legăturii.

La structurile cu contravîntuiri verticale nu sînt, în general, necesare legături rigide la noduri.

Pentru verificarea legăturilor la nodurile cadrelor, din calculul structurii trebuie să rezulte solicitările la care sînt supuse aceste legături, ca urmare a diferitelor acțiuni posibile în timpul exploatării.

După elaborarea calculelor structurii, cînd se cunosc solicitările care apar în legături, este necesar să se reanalizeze concepția de alcătuire a acestora, care trebuie pusă în acord cu modul de solicitare și cu valorile solicitărilor, în scopul de a se obține legături corespunzătoare, cu siguranță necesară. Trebuie în primul rînd să se verifice dacă alcătuirea constructivă a legăturilor este în concordanță cu legătura teoretică admisă în schema de calcul.

b. Verificarea legăturilor

La nodurile rigide ale cadrelor valorile momentelor de verificare se reduc față de valoarea momentelor din nodul teoretic conform fig. XX.9.

La legăturile cu grinzile sprijinite pe scaune reacțiunea grinzii se transmite direct la scaune, iar momentele sînt luate în general prin legăturile tălpilor de stîlp. Tipul caracteristic pentru o asemenea prindere este dat în fig. XX.10. În inima stîlpului, în zona prinderii, se produce o solicitare complexă, la legătura inimii cu talpa, care se poate determina cu relația

$$\sigma_{ec} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}, \qquad \text{(XX.16)}$$

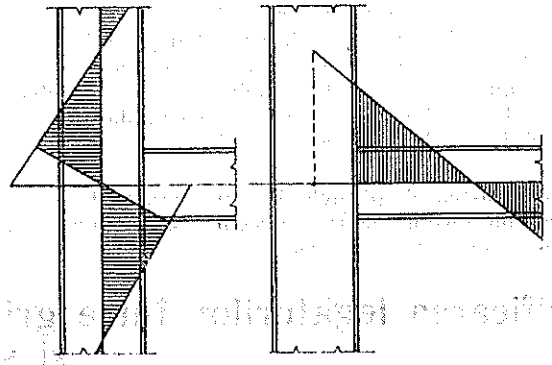


Fig. XX.9. Reducerea momentelor la noduri.

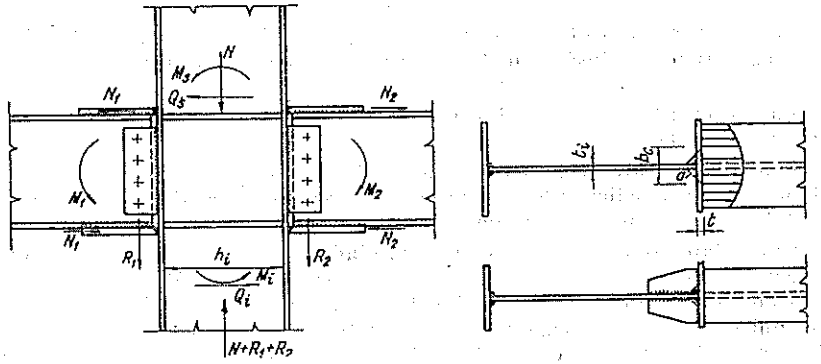


Fig. XX.10. Solicitarea unei prinderi de stîlp.

în care

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_s}{I} \cdot \frac{h_i}{2} \text{ și } \tau = \frac{Q_s - (N_1 - N_2)}{A_i}.$$

În aceste relații:

A și I sînt aria secțiunii inimii și momentul de inerție al stîlpului;

A_i este aria secțiunii stîlpului și

Q_s — forța tăietoare din stîlp.

În cazul cînd lipsesc rigidizările de pe inima stîlpului, eforturile din talpa grinzii se transmit neuniform stîlpului, din cauza tendinței de deformare a tălpii stîlpului. Pentru calcul se poate lua o distribuție uniformă pe o lățime $b_e = l_i + 2 \times 1{,}1a + 2l$. Soluția conduce însă la dificultăți în rezolvarea prinderii și nu trebuie să se renunțe complet la rigidizarea inimii stîlpului; este recomandabil să se prevadă cel puțin rigidizări scurte.

În lipsa rigidizărilor de pe inima stîlpului, eforturile pe inimă lîngă talpă sînt foarte mari, deoarece pe lîngă eforturile unitare σ_y, date în inima stîlpului de efortul axial N și de momentul încovoietor în stîlp, apar și eforturile unitare σ_x, date de momentul din grindă, care se compun cu eforturile σ. În acest caz, valoarea eforturilor unitare este dată de relația

$$\sigma_{cc} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau^2}. \qquad \text{(XX.17)}$$

Efortul unitar σ_x se poate admite că se repartizează pe o înălțime din inima stîlpului egală cu înălțimea prinderii grinzii de stîlp.

Cînd grinzile sînt prinse de stîlp pe tot conturul lor, avînd eventual și nervuri pe tălpi, reacțiunea și momentul încovoietor la legătura grinzii cu stîlpul se transmit prin întreaga prindere; la calculul sudurii de prindere este admisibil ca momentul să se dea întregii secțiuni de sudură, iar forța tăietoare numai sudurilor verticale.

Tipul caracteristic de nod pentru o astfel de prindere este cel din fig. XX.11.

Îmbinările din fig. XX.12 se verifică admițînd că din momentul din grindă M_1 și M_2 rezultă componentele V_1 și V_2; la valorile acestor componente și la

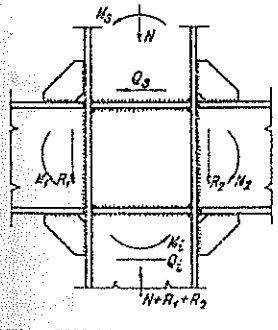


Fig. XX.11. Solicitarea unei prinderi sudate.

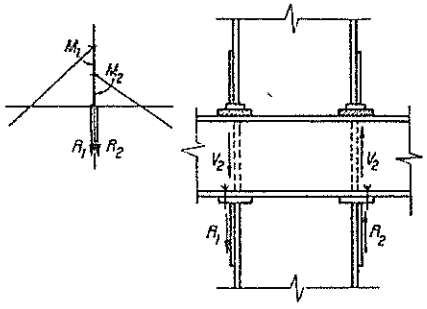


Fig. XX.12. Solicitarea prinderii de stîlpi din elemente depărtate.

reacțiunile grinzilor R_1 și R_2 se verifică plăcile și prinderile acestora de stîlp. O altă verificare se face pentru prinderile care împiedică deplasarea la nod a grinzii.

5. Deformații

La construcțiile înalte deplasarea față de verticală poate ajunge la valori mari, care este posibil să nu fie îngăduite de cerințele unei bune utilizări. Acțiunea cea mai importantă care conduce la astfel de deplasări este acțiunea vîntului; vîntul, datorită faptului că se aplică pulsatoriu, produce oscilații care pot deveni supărătoare.

În cazul construcțiilor metalice industriale cu multe etaje, deplasarea orizontală la nivelul ultimului etaj este recomandabil să nu fie mai mare ca $H/1\,000$, H fiind distanța de la fundație la etajul respectiv. La construcțiile înalte, care au instalații și utilaje care nu suportă mișcări ale construcțiilor sau înclinări ale planșeelor peste anumite limite, deplasarea orizontală a construcției poate fi limitată la valori mai mici, impuse de condițiile cerute de procesele tehnologice.

Determinarea deplasărilor orizontale se face pe baza acțiunilor normate; se iau în considerare grupările de acțiuni inclusiv vîntul, care conduc, datorită modului de exploatare, la deplasările cele mai mari. La calculul deplasărilor orizontale este necesar să se ia în considerare și efectul tasărilor și rotirilor fundațiilor.

Partea a patra

CONSTRUCȚII INDUSTRIALE AUXILIARE

XXI. Stîlpi de susținere

1. Alcătuirea stîlpilor de susținere

a. Alcătuirea de ansamblu

Stîlpii pentru susținerea conductelor mici pot fi executați dintr-un profil laminat dublu T sau din două profile U, solidarizate cu plăcuțe (fig. XXI.1). Distanța la care se așază stîlpii depinde de diametrul conductelor; în unele cazuri, pentru a se mări distanța între stîlpi, se introduc ancoraje din cabluri sau bare rotunde; alteori se introduc tiranți sub conductă (fig. XXI.2).

Pentru susținerea conductelor mari sau așezate la înălțimi mari deasupra terenului se folosesc stîlpi cu zăbrele (fig. XXI.3). Obișnuit, stîlpii cu zăbrele au două ramuri, verticale sau înclinate, legate cu zăbrele. Ramurile sînt alcătuite din cîte un profil U sau dublu T, după mărimea solicitărilor. Zăbrelele sînt alcătuite din corniere; sistemul de zăbrele poate fi cu diagonale duble, triunghiular cu montanți suplimentari sau în K. Fiecare ramură reazemă pe o fundație de beton, de care este prinsă cu buloane de ancoraj; stîlpul,

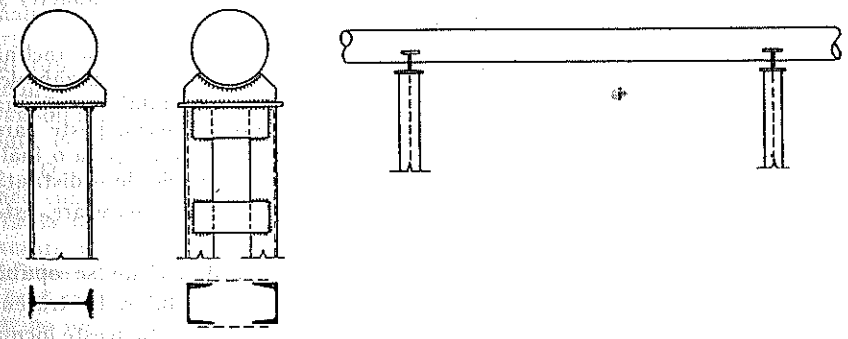


Fig. XXI.1. Stîlpi pentru susținerea conductelor.

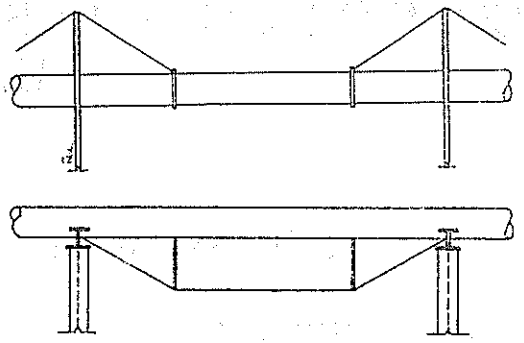


Fig. XXI.2. Susținere cu ancoraje.

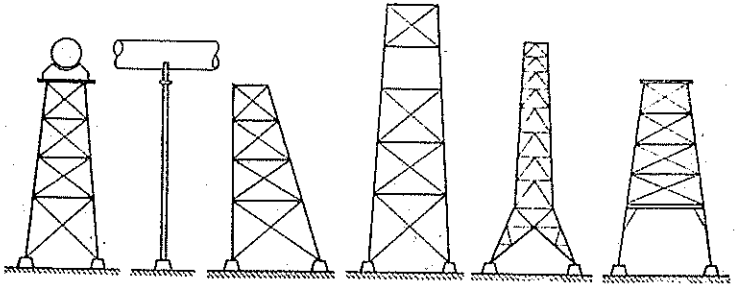


Fig. XXI.3. Stîlpi de susținere cu zăbrele.

în ansamblul său, este încastrat în planul transversal traseului conductei și articulat în planul paralel cu axa longitudinală a conductei.

Sînt cazuri cînd una din ramuri rămîne verticală, iar a doua se înclină pentru a se obține la bază o înălțime convenabilă pentru stîlpul cu zăbrele. Pentru a se lăsa locuri libere pe o înălțime oarecare deasupra solului, se suprimă diagonalele și se realizează un cadru cu două articulații la bază, peste care continuă stîlpul cu zăbrele. O altă soluție este să se frîngă ramurile la o înălțime oarecare, mai ales dacă stîlpii sînt înclinați și este nevoie de o distanță mare între fundațiile ramurilor. Sînt cazuri cînd, la o înălțime oarecare, este necesar să se suprime diagonalele într-un panou.

Legătura stîlpilor sus și jos este realizată astfel ca stîlpii să nu se opună mișcărilor conductei în lungul ei și au deci un caracter pendular. Pe traseul conductei este necesar să se introducă însă și unele puncte fixe. În aceste locuri se introduc stîlpi cu zăbrele spațiali; aceștia au patru ramuri, legate între

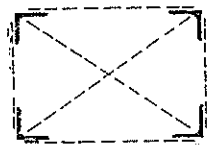


Fig. XXI.4. Secțiune la stîlpi spațiali.

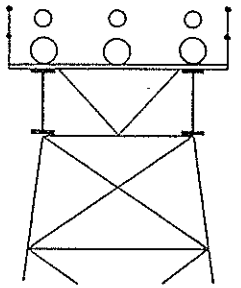


Fig. XXI.5. Conducte așezate pe pasarele.

ele pe cele două direcții cu perechi de zăbrele (fig. XXI.4). Stîlpii spațiali au la partea superioară și la unele niveluri intermediare contravîntuiri orizontale; asemenea contravîntuiri este de dorit să se pună la intervale de circa 4 m.

Deseori, pe un traseu oarecare sînt mai multe conducte cu diametre apropiate sau mult diferite. Rezolvarea susținerii unor asemenea conducte se poate face în moduri diferite. Cînd există o conductă mare și una sau mai multe conducte cu diametre mici, distanța între stîlpi se alege după conducta cu diametru mare; conductele cu diametru mic sînt susținute de conducta mare. Dacă diametrele conductelor sînt apropiate sau numărul conductelor este mare, aceasta se așază pe construcții speciale, în formă de grinzi sau pasarele (fig. XXI.5). În acest caz, stîlpii au rolul să susțină grinzile sau pasarelele.

Stîlpii de susținere pentru conducte au în general înălțimi variate, fie din cauza denivelărilor solului, fie din cauză că unele conducte se așază cu oarecare pante sau își schimbă înălțimea pe traseu; este indicat să se urmărească o uniformizare a stîlpilor. Aceasta se poate realiza prin gruparea stîlpilor cu înălțimi apropiate, executîndu-se cîte un singur tip de stîlp pentru o aceeași grupă. Diferențele de înălțime la aceeași grupă se dau variind înălțimea soclului fundației. Stîlpii cu diferențe mai mari de înălțime se realizează prin adăugare de panouri la baza stîlpilor mai scurți sau prin modificarea numai a panoului de bază. În modul acesta stîlpii se reduc la un număr limitat de tipuri, ceea ce este avantajos pentru execuție.

O atenție deosebită trebuie dată montării stîlpilor, care trebuie să se facă conform pozițiilor din proiect; în special capătul superior trebuie să se afle la nivelul cerut. Respectarea traseului și a nivelului se asigură printr-o trasare îngrijită și prin repere de nivel executate prin mijloace topografice suficient de precise. Unele diferențe de înălțime, de 20—40 mm, trebuie prevăzut să poată fi corectate la montarea stîlpilor metalici, prin așezarea bazei lor pe un strat de mortar.

O altă categorie de construcții, așezate uneori la înălțimi mari, orizontal sau înclinat, o formează pasarelele închise în care sînt montate diferite sisteme

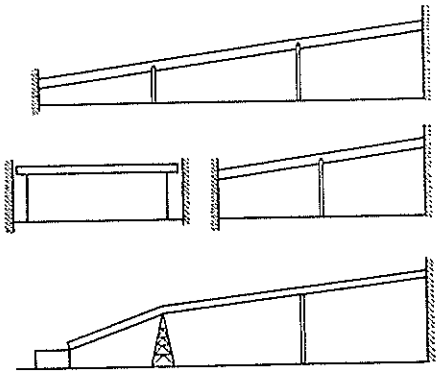


Fig. XXI.6. Scheme pentru susțineri de pasarele.

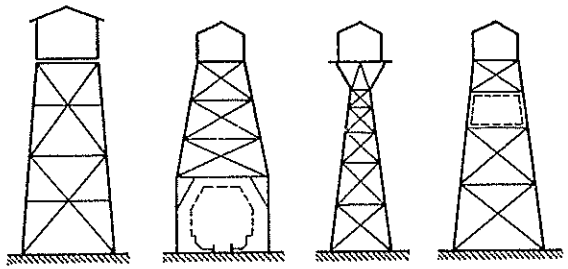


Fig. XXI.7. Stîlpi pentru susținerea pasarelelor.

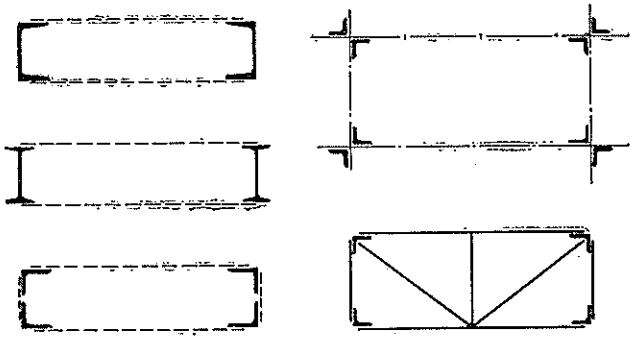


Fig. XXI.8. Secțiuni de stîlpi pentru pasarele.

de transport continuu, cum sînt benzile, transportorii elicoidali, transportorii cu raclete etc.

Pasarelele sînt alcătuite din două grinzi verticale, în general cu zăbrele, și contravîntuiri transversale la nivelul tălpilor superioare și inferioare ale grinzilor verticale. Grinzile verticale pot fi independente pe fiecare deschidere sau continue. Cînd pasarelele nu sînt prea lungi, grinzile pot fi legate articulat de stîlpi, deoarece aceștia, fiind înalți, permit mișcările grinzilor în lungul lor. La capete și din distanță în distanță la pasarelele lungi, se așază cîte un reazem fix și unul mobil; la pasarelele în pantă este preferabil ca reazemul fix să fie la partea de jos (fig. XXI.6).

Pentru susținerea acestora se folosesc stîlpi cu zăbrele, de formă plană sau cu alcătuire spațială. Stîlpii sînt în general dezvoltați în sens transversal pasarelei; pe direcția axei pasarelei stîlpii au rigiditatea cerută de condițiile de stabilitate ale ramurilor (fig. XXI.7). Alteori, mai ales la pasarele lungi sau cu schimbări de pantă sau de direcție, apar și stîlpi dezvoltați pe ambele direcții care sînt solicitați mult și în direcția pasarelei.

Stîlpii de susținere ai pasarelelor, cînd înălțimea nu este mare, se pot executa din două ramuri verticale sau înclinate, legate cu zăbrele. Secțiunea ramurilor poate fi compusă din cîte două corniere, din cîte un profil U sau dublu T (fig. XXI.8). Ramurile se execută și din cîte două corniere, așezate la o mică distanță și solidarizate cu cîte două perechi de zăbrele în fiecare direcție. Construcțiile de susținere a pasarelelor pot avea unele panouri fără diagonale, mai ales în partea inferioară unde este necesar, cîteodată, să se păstreze spații pentru trecerea unor linii ferate. Stîlpii pasarelelor cu alcătuire spațială trebuie să aibă și contravîntuiri orizontale la interval de 3—4 m care să le asigure nedeformabilitatea și rigiditatea spațială. Asemenea contravîntuiri se prevăd neapărat în planul orizontal de la nivelul la care ramurile își schimbă înclinarea.

b. Detalii constructive

Alcătuirea diferitelor legături și prinderi se face după regulile obișnuite, cu unele particularități impuse de forma construcțiilor. La o construcție de susținere cu formă plană, cu ramurile din profile U sau dublu T, zăbrelele se pot alcătui din cîte o cornieră. Pentru prinderea lor la noduri, se prevăd gusee sudate de tălpi. Ansamblul sistemului de zăbrele este simetric. Cînd sînt și montanți, diagonalele se întrerup la încrucișare și continuitatea li se dă printr-un guseu fixat și de montanți (fig. XXI.9). Baza stîlpului se alcătuiește pentru fiecare ramură dintr-o placă orizontală de 15—20 mm grosime fixată de ramurile stîlpilor cu gusee și cu întăriturile verticale. Cînd ramurile stîlpilor sînt alcătuite din două corniere, prinderile se execută după regulile de la grinzile cu zăbrele.

La susținerile de formă spațială, prinderea zăbrelelor de ramuri se face de asemenea cu gusee, alcătuirea fiecărei părți plane făcîndu-se după prin-

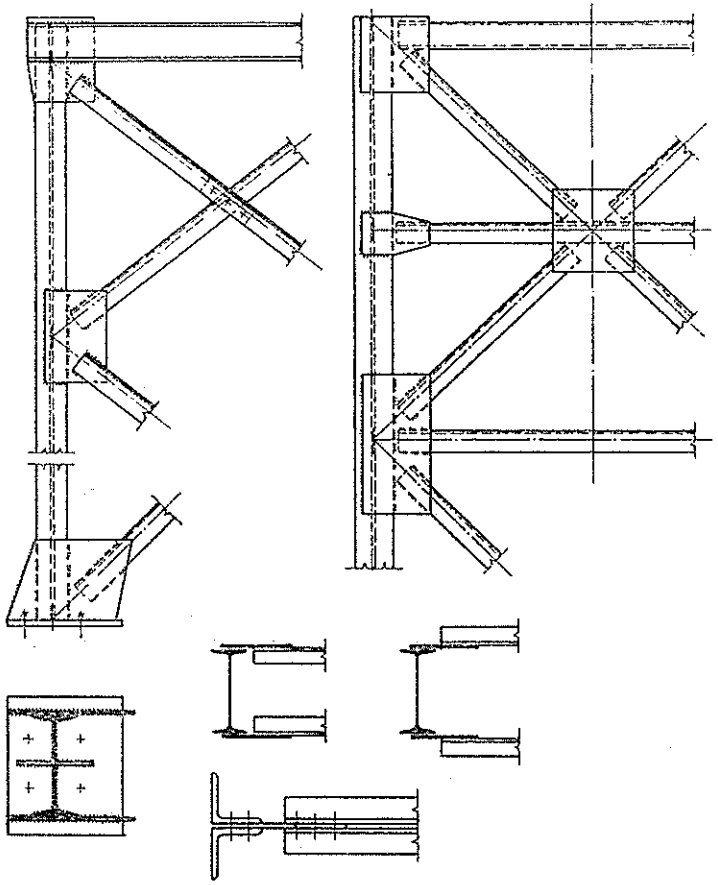


Fig. XXI.9. Detalii pentru susțineri plane.

cipiile grinzilor cu zăbrele plane. Cînd construcția de susținere se termină cu un vîrf, pentru a se obține o linie de rezemare centrală, partea superioară, avînd unele bare înclinate, se prinde de construcție prin gusee îndoite, după cum se arată în fig. XXI.10. Contravîntuirea orizontală, formată din două diagonale încrucișate, se prinde de ramuri prin gusee orizontale sudate de cornierele ramurii. Pentru alte forme de secțiuni ale ramurilor se pot folosi gusee verticale. În unele cazuri se pune problema creerii unor suprafețe de

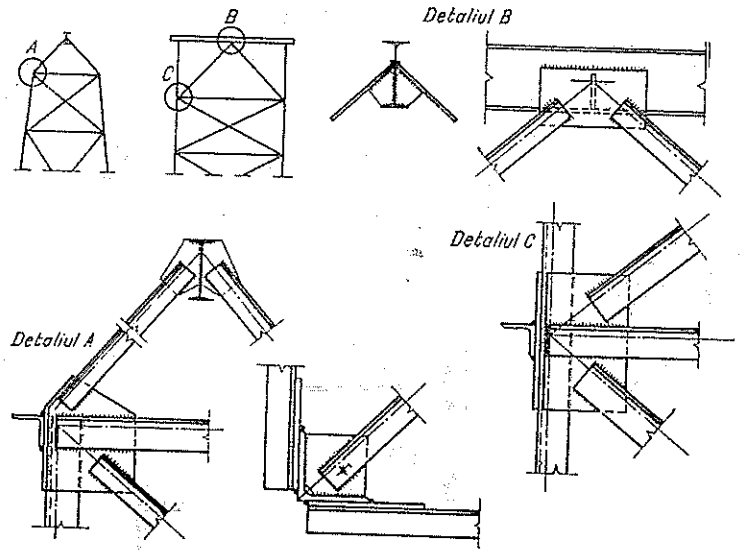


Fig. XXI.10. Detalii pentru susțineri spațiale.

rezemare, de exemplu, la susținerile pasarelelor. Acestea pot fi orizontale sau înclinate. Cînd grinzile reazemă pe o singură linie, se realizează în vîrful construcției de susținere o grindă de reazem pe talpa căreia vor rezema grinzile pasarelei. Grinda se rigidizează în dreptul reazemelor (fig. XXI.11). Barele înclinate, care transmit eforturi mari la nodurile construcției de susținere, se prind cu gusee întărite prin așezarea lor pe două direcții perpendiculare. Dacă grinzile reazemă pe capetele ramurilor construcției de susținere spațială capetele acestora se amenajează astfel încît să poată fi așezate pe ele aparatele de reazem. Pe lîngă cele două gusee verticale care corespund fețelor construcției spațiale, se mai prevede un guseu vertical pentru prinderea contravîntuirii transversale. Placa de susținere a reazemului poate fi așezată peste aceste gusee, de care se prinde cu sudură ; se prevăd după necesitate și alte rigidizări verticale. Cînd secțiunea ramurilor este formată din două corniere așezate în cruce, guseul feței plane, care suportă solicitările cele mai mari, se trece prin intervalul dintre cele două corniere și se prinde prin sudură ; guseul feței perpendiculare se prinde numai de una din corniere. Cînd zăbrelele de pe fața corespunzătoare acestor gusee au eforturi mai mari, cornierele ramurii se prind între ele cu plăcuțe, așezate deasupra și dedesubtul guseului continuu.

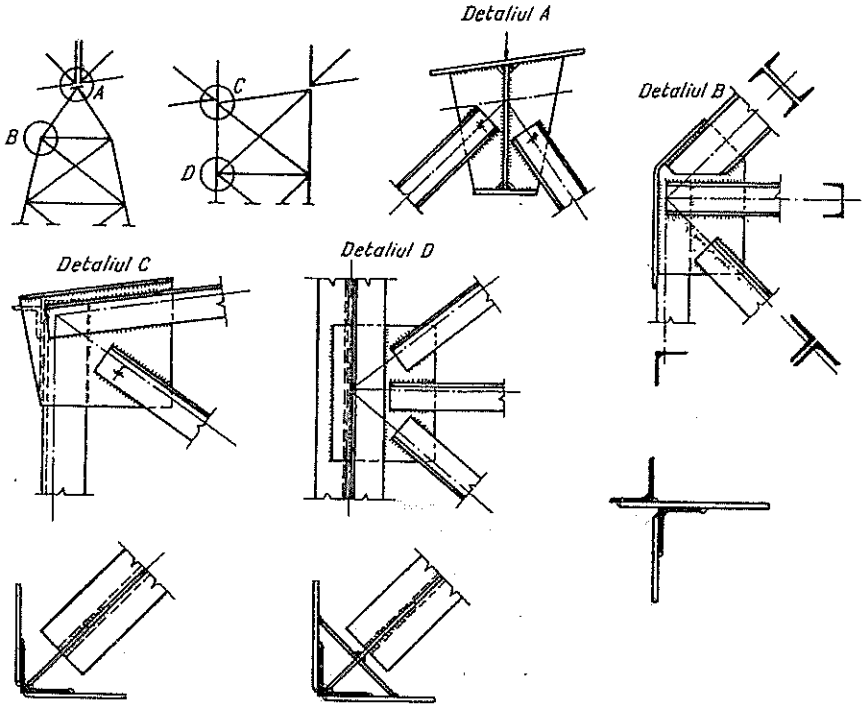


Fig. XXI.11. Detalii pentru susținerea grinzilor.

2. Calculul construcțiilor de susținere

a. Acțiuni de calcul

Construcțiile de susținere suportă încărcări verticale și orizontale, date de instalațiile pe care le susțin, de greutatea lor proprie și de forțele rezultate din vînt. În regiuni seismice suportă și acțiunile cutremurului.

În cazul conductelor, încărcarea verticală a construcțiilor de susținere este dată de greutatea conductelor, inclusiv greutatea izolării termice a acestora precum și de greutatea conținutului conductelor, considerate pline. În cazul conductelor pentru gaze, care conțin și praf, se consideră că pînă la 30% din secțiunea conductei poate fi plină cu praf : la conductele pentru abur se consideră că în conductă se găsește o cantitate de apă, rezultată din condensarea aburului. Unei susțineri îi revine încărcarea de pe jumătățile deschiderilor

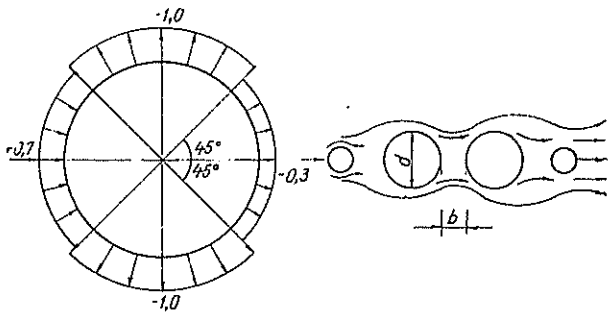


Fig. XXI.12. Presiunea vîntului pe conducte.

adiacente. În unele cazuri trebuie să se examineze și sporul de greutate pe care l-ar da depunerea unui strat de gheață pe conducte și pe elementele de susținere. Forțele orizontale date de vînt au o acțiune mai complexă în cazul conductelor. Forța orizontală, transversală conductei, poate fi evaluată cu relația $p_v = kg_v$ (în daN/m²), în care k este un coeficient de formă, care include efectul presiunii și al sucțiunii, iar p_v reprezintă presiunea pe metru pătrat de secțiune verticală diametrală a conductei. Valoarea coeficientului k se ia 0,7 în cazul unei conducte sau al mai multor conducte, care nu se acoperă una pe alta (fig. XXI.12). Cînd sînt mai multe conducte așezate astfel încît una acoperă pe cealaltă, valoarea coeficientului k se păstrează neschimbată pentru prima conductă ; pentru conductele următoare, lovite de vînt cu o presiune din ce în ce mai mică valoarea lui k se reduce în funcție de distanța dintre conducte. Pentru distanțe b pînă la d, d fiind diametrul exterior al conductei din față, se poate lua 0,2 din k ; pentru distanțe mai mari se iau valori sporite, ajungîndu-se la 0,3 k pentru $b = 2d$ și 0,4k pentru $b = 4d$. Cînd o conductă mică se găsește la oarecare distanță în fața alteia mai mari, se ia valoarea lui k întreagă pentru ambele conducte.

Presiunea vîntului pe construcția de susținere cu zăbrele cu două sau patru ramuri se determină ținîndu-se seama de forma construcției (fig. XXI.13). Prima față a construcției este întîlnită direct de curenții de aer și presiunea, inclusiv sucțiunea, se determină ca la oricare construcție, ținîndu-se seama de suprafața expusă vîntului și de întreaga valoare a presiunii de bază ; a doua față a construcției, situată la oarecare distanță, este întîlnită de curenții de aer cu o viteză mai redusă, a cărei valoare depinde de golurile primei fețe și de distanța la care se găsește a doua față.

Considerînd pentru calcul aceeași presiune de bază, rezultă că pentru suprafața a doua este necesar să se introducă un coeficient de reducere k' pentru valoarea presiunii de bază g_v. Admițînd că cele două fețe au aceeași suprafață A expusă vîntului, presiunea totală pe un metru liniar de stîlp este

$$p_v = k_t(k_1 + k_2)(1 + k')g_v A \ \text{[daN/m]} \qquad \text{(XXI.1)}$$

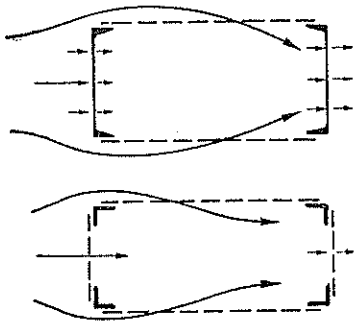


Fig. XXI.13. Efectele presiunii vîntului.

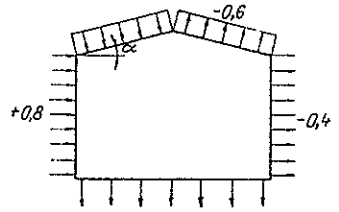


Fig. XXI.14. Presiunea vîntului pe construcția închisă a pasarelei.

în care:

k_t este un coeficient care ține seamă de caracterul de construcție înaltă, cînd este cazul;

k_1 — coeficient care multiplică presiunea pe fața apăsată de vînt;

k_2 — coeficient de sucțiune.

Suprafața care se ia în calcule este proiecția pe un plan vertical a plinurilor primei fețe întîlnite de vînt. Vîntul se consideră că are orice direcție orizontală; se admit deci pentru construcția de susținere și presiuni date de vînt în lungul conductei.

Pentru construcțiile de susținere situate în locuri deschise, în văi sau în alte poziții, în care se pot dezvolta acțiuni intense ale vîntului, presiunile se sporesc cu 50%. Se face și verificarea ridicării construcțiilor de pe susținerile lor și a efectelor de răcire, caracteristice unei astfel de acțiuni. Alte forțe orizontale pot apărea la susținerile cu reazeme fixe pentru conducte, din variațiile de temperatură și din presiunile care se dezvoltă la manevrarea robinetelor de închidere.

La verificarea construcțiilor de susținere se ține seama și de forțele de frecare, care apar la rezemările mobile ale conductelor. Coeficienții de frecare se iau $f = 0{,}30$ pentru frecarea prin alunecare și $f = 0{,}03$ pentru frecarea prin rostogolire.

În cazul pasarelelor, din încărcările verticale pot rezulta unele împingeri, după modul de rezemare al pasarelelor înclinate. Rezultă împingeri și din frecările reazemelor.

Forțele date de vînt se iau ca pentru o construcție liberă așezată la înălțime, asupra căreia se exercită presiuni și sucțiuni și pe fețele orizontale sau pe cele ușor înclinate; de aici rezultă o supraîncărcare a construcției de susținere corespunzătoare acțiunii vîntului de sus în jos, care poate ajunge la valori $p_v = 0{,}4\ g_v$ în daN/m² de suprafață orizontală a pasarelei (fig. XXI.14).

b. Calculul la încărcări verticale

La construcțiile plane încărcările sînt aduse la nodurile superioare în axa stîlpilor, ținîndu-se seama de efectele care se produc prin aplicarea excentrică a încărcărilor. La construcțiile înalte cu încărcări verticale mari diagonalele se încarcă cu eforturi unitare importante sub efectul cărora pot să-și piardă stabilitatea.

Forța verticală P totală, care încarcă construcția, este luată de ansamblul stîlpi-diagonale, în urma deformațiilor care au loc. Notînd cu P_1 ceea ce iau stîlpii și cu P_2 ceea ce revine zăbrelelor din forța totală P, rezultă relația evidentă $P = P_1 + P_2$ (fig. XXI.15). Sub acțiunea forțelor P_1 stîlpii se scurtează pe înălțimea unui panou cu $\Delta h = P_1 h / 2 A_s E$.

Sistemul de zăbrele sub acțiunea forței P_2 se va scurta cu aceeași cantitate Δh.

Efortul într-o diagonală este $D = P_2/2 \sin \alpha$, iar în montant, din izolarea nodului rezultă

$$M = 2D \cos \alpha = \frac{P_2 \cos \alpha}{\sin \alpha} = P_2 \operatorname{cotg} \alpha. \qquad \text{(XXI.2)}$$

Lungimile barelor în funcție de h sînt

$$l_d = h/2 \sin \alpha \text{ și } l_m = 2\, l_d \cos \alpha = \frac{h \cos \alpha}{\sin \alpha} = h \operatorname{cotg} \alpha.$$

Lucrul mecanic interior în acest sistem este

$$L = \frac{4}{2} \frac{D^2 l_d}{A_d E} + \frac{1}{2} \frac{M^2 l_m}{A_m E} = \frac{P_2^2 h}{4 A_d E \sin^3 \alpha} + \frac{P_2^2 h \operatorname{cotg}^3 \alpha}{2 A_m E}. \qquad \text{(XXI.3)}$$

Scurtarea este dată de derivata în raport cu P_2

$$\Delta h = \frac{P_2 h}{E} \left[\frac{1}{2 A_d \sin^3 \alpha} + \frac{\operatorname{cotg}^3 \alpha}{A_m} \right]. \qquad \text{(XXI.4)}$$

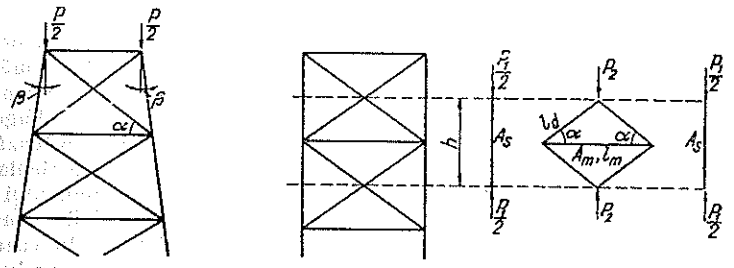


Fig. XXI.15. Repartizarea încărcării P.

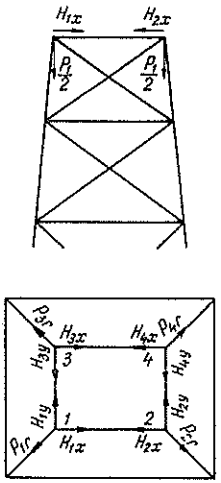


Fig. XXI.16. Încărcări la construcții spațiale.

Din egalarea acesteia cu scurtarea stîlpilor rezultă

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{A_s}{A_d \sin^3\alpha} + 2\frac{A_s}{A_m}\operatorname{cotg}^3\alpha. \qquad \text{(XXI.5)}$$

Forța P_2 este mică în raport cu P_1, astfel încît stîlpii pot fi calculați fără a considera că o parte din forța totală trece la zăbrele; în schimb, eforturile unitare care se dezvoltă în zăbrele sînt mari. Dacă se ține seama că secțiunea zăbrelelor este mult mai mică decît a stîlpilor, rezultă pentru $A_s = 6\ A_d = 6\ A_m$ și pentru $\alpha = 45°$: $P_2 = 0{,}03\ P_1$ și $\sigma_d = 0{,}26\ \sigma_s$, ceea ce impune ca la calculul zăbrelelor să se ia în considerare și eforturile date de partea care le revine din încărcarea verticală, deosebit de eforturile date de forțele orizontale.

În cazul unei construcții de susținere spațială, încărcarea P de la un nod superior se descompune într-o componentă după direcția stîlpului P_r și în alta orizontală, care la rîndul ei se descompune după direcția montanților orizontali în forțele H_x și H_y (fig. XXI.16). O față a stîlpului, care reprezintă o construcție plană cu zăbrele, va fi solicitată de componentele H_{1x} și H_{2x}, alta de H_{1y} și H_{3y} și așa mai departe. Eforturile din ramuri se vor adăuga la eforturile P_{1r}, P_{2r} etc. Eforturile în zăbrele, datorită scurtării stîlpilor sub eforturile P_r, pot fi determinate și în acest caz; calculele pot fi făcute pentru fiecare față, repartizînd eforturile P_r dintr-un stîlp comun, la două fețe alăturate în raporturile secțiunilor zăbrelelor.

c. Calculul la încărcări orizontale

În cazul unui stîlp cu diagonale încrucișate, se admite că forța orizontală care revine diagonalelor într-un panou se distribuie egal celor două diagonale (fig. XXI.17). În cazul unor construcții plane, la care într-un panou lipsesc diagonalele, calculul eforturilor în barele panoului fără diagonale se face ținînd seama de legăturile introduse. Dacă barele care limitează panoul sînt legate rigid între ele, restul construcției fiind legat articulat de cadrul rigid, se consideră că stîlpii au articulații la mijlocul panoului (fig. XXI.18). Înălțimea panoului fiind h și suma forțelor orizontale pînă la această secțiune ΣW, momentele la colțuri sînt $M = \Sigma W h/4$. În cazul în care montantul nu se leagă rigid de ramuri, acestea trebuie să fie prelungite continuu și pe panourile vecine, deoarece ramurile sînt solicitate de momente care se distribuie pînă la primele noduri articulate.

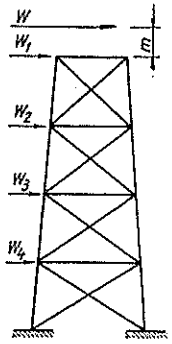


Fig. XXI.17. Încărcarea cu forțe orizontale.

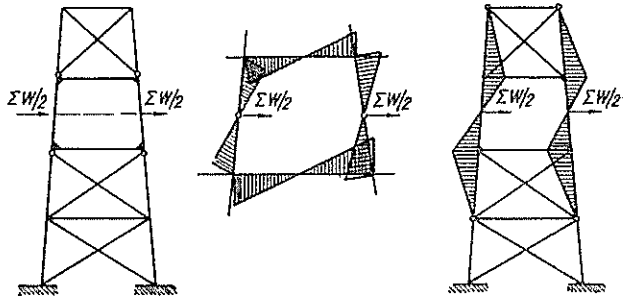


Fig. XXI.18. Distribuția eforturilor la o susținere cu diagonale lipsă

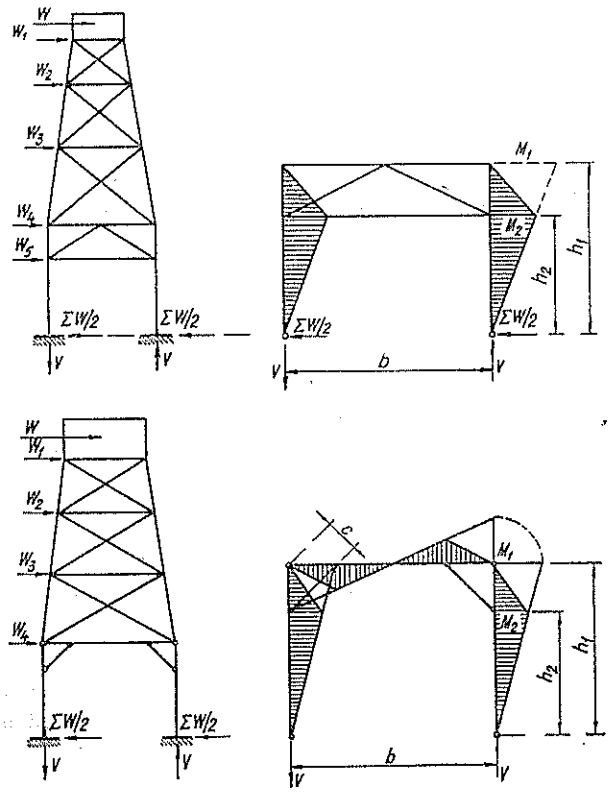


Fig. XXI.19. Stîlpi cu cadru la bază.

În cazul în care lipsesc diagonalele în panoul inferior, poate fi realizat aici un cadru cu legături rigide la noduri și articulat în fundații. Cadrul poate fi realizat și printr-o grindă orizontală cu zăbrele, ale cărei bare sînt legate articulat de stîlp (fig. XXI.19). În acest caz, momentul maxim în stîlpii cadrului are valoarea $M_2 = h_2 \Sigma W/2$, rezultanta forțelor orizontale admițîndu-se repartizată egal la cele două reazeme. Barele grinzii orizontale nu primesc momente, iar eforturile din ele se determină ușor. În cazul în care cadrul este rigidizat prin contrafișe, momentul maxim în stîlpi se află de asemenea la baza contrafișei și are valoarea $M_2 = h_2 \Sigma W/2$. Efortul în contrafișe este $S = M_1/c = h_1 \Sigma W/c$. În rigla orizontală a cadrului rezultă momente a căror distribuție este arătată în fig. XXI.19.

d. Particularități de calcul la stîlpii spațiali

În cazul construcțiilor de susținere cu formă spațială, forțele orizontale, care acționează în axa construcției, se distribuie egal la cele două grinzi plane, așezate în aceeași direcție cu aceea după care acționează forțele (fig. XXI.20). Este posibil ca în unele situații se apară o solicitare dată de o forță orizontală F care acționează la o înălțime h cu o excentricitate e față de axa construcției de susținere; în acest caz apare și un moment de răsucire

$$M_r = Fe, \tag{XXI.6}$$

aplicat la nivelul h. În general, construcția fiind simetrică în raport cu cele două axe $x-x$ și $y-y$, centrul de răsucire se găsește la intersecția acestor axe. Aducînd forța F în acest centru, fețele stîlpului, dispuse după direcția forței F, se vor încărca din această forță fiecare cu $F_1' = F/2$. Momentul M_r se poate înlocui cu două cupluri, ale căror forțe se găsesc în fețele opuse ale stîlpului, astfel încît

$$M_r = F_1 b + F_2 a. \tag{XXI.7}$$

Forțele F_1 și F_2 se pot determina considerînd că momentul de răsucire M_r se împarte egal la cele două cupluri. Rezultă în acest caz $F_1 = M_r/2b$ și $F_2 = M_r/2a$.

Cînd ramurile construcției de susținere au secțiuni mari, care pot lua unele eforturi de răsucire, fiind alcătuite de exemplu din două profile U

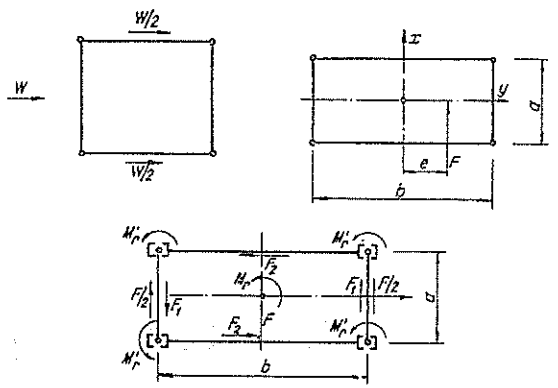


Fig. XXI.20. Solicitări la stîlpi spațiali.

sau din țevi, calculul se face introducînd și efectul acestor elemente. Neglijînd unele efecte secundare și înclinarea mică a ramurilor se poate scrie

$$F_1 b + F_2 a + 4M_r' = M_r' \tag{XXI.8}$$

M_r' fiind momentul care revine unei ramuri.

Notînd cu φ_1 unghiul de răsucire al secțiunii construcției de susținere de la înălțimea h, față de secțiunea de bază, sub acțiunea unui moment de răsucire $M_r = 1$, la determinarea acestui unghi neglijîndu-se rezistența la răsucire a ramurilor, se poate găsi unghiul φ care corespunde celor două cupluri

$$\varphi = \varphi_1 (F_1 b + F_2 a). \tag{XXI.9}$$

Unghiul $\varphi_1 = \frac{1}{E} \Sigma \frac{n_{i1}^2 l_i}{A_i}$, unde n_{i1} este efortul într-o bară i, de secțiune A_i și lungime l_i, dat de momentul de răsucire egal cu unitatea, descompus în cuplurile $1/2a$ și $1/2b$.

Rotirea secțiunii unei ramuri la nivelul h este egală cu rotirea secțiunii construcției. Deci:

$$\varphi = \frac{M_r' h}{G I_r} = \varphi_1 (F_1 b + F_2 a) \tag{XXI.10}$$

unde I_r este momentul de inerție la răsucire al unei ramuri. Rezultă

$$M_r' = \frac{\varphi_1 (F_1 b + F_2 a)}{h} G I_r. \tag{XXI.11}$$

Prin înlocuire se obține

$$F_1 b + F_2 a + 4\frac{\varphi_1(F_1 a + F_2 b)}{h} GI_r = M_r$$

sau

$$F_1 b + F_2 a = \frac{M_r h}{h + 4\varphi_1 GI_r}. \qquad \text{(XXI.12)}$$

Rezultă, cu distribuția de mai înainte, F_1 și F_2.

XXII. Turnuri și piloni

1. Tipuri și alcătuire

a. Generalități

În categoria construcțiilor în formă de turn și piloni intră: turnurile pentru radio și televiziune, pilonii pentru radio, farurile, unele turle înalte, coșurile de fum, stîlpii liniilor de transport de energie electrică și altele. Construcțiile în formă de turn sînt încastrate în fundații (fig. XXII.1, *a*); pilonii sînt construcții legate articulat de fundații și ancorate cu cabluri la diferite înălțimi (fig. XXII.1, *b*, *c*). Turnurile și pilonii au alcătuiri spațiale cu zăbrele, sau au forma unei suprafețe cilindrice pline, alcătuită din tablă. Secțiunea transversală poate fi pătrată, triunghiulară sau rotundă (fig. XXII.2). Raportul dintre înălțimea construcției și dimensiunile transversale este foarte mare. În secțiune verticală ramurile construcției pot fi verticale, ușor înclinate sau cu oarecare curbură, secțiunea verticală lărgindu-se spre bază.

Încărcările turnurilor și pilonilor sînt: greutatea proprie a construcției și a instalațiilor pe care le susțin, componentele forțelor de întindere ale cablurilor, ale conductoarelor, antenelor. Alte încărcări sînt date de greutatea gheții și efectele temperaturii.

Acțiunea seismică și forțele rezultate din ruperea unor cabluri sau conductoare se consideră că fac parte din ipoteza de calcul extraordinară.

Diferitele grupări de încărcări se fac după natura și funcțiunile pe care le are construcția.

Presiunea vîntului, avînd cea mai mare influență la dimensionarea elementelor construcției, se determină ținînd seama de caracterul construcției: construcție înaltă, cu zăbrele sau plină cu secțiune circulară. Vîntul, acționînd în rafale, pune construcția în vibrație.

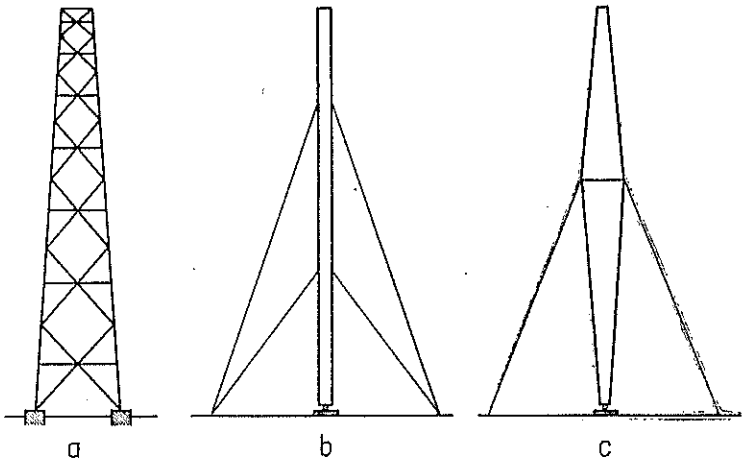


Fig. XXII.1. Turnuri și piloni.

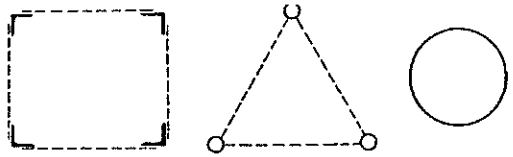


Fig. XXII.2. Secțiuni pentru turnuri și piloni.

Notînd cu A suprafața proiectată pe un plan vertical a plinurilor unei fețe la stîlpii cu zăbrele și cu q presiunea vîntului în daN/m², determinată ținînd seama de caracterul înalt al construcției, de coeficientul aerodinamic și de regiune, presiunea vîntului pe metru se poate exprima prin formula

$$q_v = cqA \text{ [daN/m]}. \qquad \text{(XXII.1)}$$

Coeficientul c la turnurile cu patru fețe ajunge la o valoare c de la 2,6 la 2,8. Acest coeficient ține seama de efectele de presiune și sucțiune pe elementele primei fețe bătute de vînt și pe cele ale feței a doua. La determinarea presiunii q se ia în considerare și efectul dinamic, în funcție de perioada proprie de vibrație a turnului. Dacă nu se face o determinare prin calcul, coeficientul dinamic pentru calculul turnurilor se poate lua egal cu 1,6—2,0.

În cazul turnurilor și pilonilor alcătuiți din țevi, este recomandabil să se țină seamă că presiunea vîntului are valori care depind de diametrul te-

vilor și că, după date experimentale, valoarea presiunii are un minim pentru un diametru în jurul a 160 mm. În ceea ce privește gheața, care se poate forma în unele ierni pe construcția unui turn cu zăbrele, prescripțiile cer să se considere că pe elementele construcției turnurilor se formează un strat de gheață de la 1,0 la 4,0 cm, după regiunea în care se găsește turnul; în calcule se ia în acest caz presiunea dată de un vînt cu intensitate mijlocie.

b. Alcătuirea turnurilor și pilonilor

Turnurile pentru susținerea antenelor de radio se fac cu secțiune pătrată sau triunghiulară, deci cu patru sau trei ramuri legate cu zăbrele; în elevație turnul prezintă o lărgire la bază, rezultată dintr-o înclinare constantă a ramurilor sau din așezarea nodurilor pe o curbă. Lățirea secțiunii verticale a turnului spre bază mărește rigiditatea turnului și corespunde mai bine variației momentelor date de forțele orizontale. Lățimea la bază se alege ținîndu-se seama ca reacțiunile negative să ajungă la valori acceptabile și săgeata pe orizontală la vîrf să nu fie mai mare decît 1/100 din înălțimea turnului; practic se poate încadra această lățime între 1/15 și 1/8 din înălțime.

Zăbrelele folosite la turnuri (fig. XXII.3) sînt cu diagonale încrucișate cu bare suplimentare la încrucișarea diagonalelor și eventual cu montanți pe linia nodurilor sau în sistem rombic cu bare suplimentare; se urmărește reducerea lungimilor de flambaj. La turnurile cu secțiunea pătrată este necesar să se introducă diafragme transversale la 7—8 m interval pentru a se asigura rigiditatea conturului sub efectul unor acțiuni excentrice; la stîlpii cu secțiunea triunghiulară nu sînt necesare diafragme, această formă fiind geometric invariabilă.

Barele turnurilor se fac din corniere, țevi și, la turnuri mari, se alcătuiesc din elemente compuse în H, dublu T și chiar tubulare (fig. XXII.4). Turnurile cu barele din țevi sînt mai ușoare decît cele din corniere cu 20—30%. Grosimile elementelor nu vor fi mai mici decît 6 mm.

Coeficientul de zvelțețe maxim al elementelor comprimate este limitat la: 120 pentru ramurile turnului, 150 pentru zăbrele și 200 pentru contravîntuiri.

Pilonii pentru susținerea antenelor de radio se fac de asemenea cu secțiune transversală pătrată sau triunghiulară. Pe verticală pot fi cu secțiune constantă sau variabilă; sînt ancorați cu cabluri la un nivel sau la mai multe niveluri (fig. XXII.5). Direcțiile de ancorare sînt în plan orizontal la 90° pentru stîlpii cu secțiune pătrată și la 120° pentru cei cu secțiune triunghiulară (fig. XXII.6). Cablurile de ancorare, cînd prinderea este la un singur nivel, fac un unghi în jurul a 45° cu verticala; cînd prinderea se face la mai multe niveluri se poate păstra același unghi sau, dacă cablurile se ancorează în aceeași fundație, unghiul cablului superior se micșorează, dar nu sub 30°.

Înălțimea secțiunii transversale se ia între 1/150 și 1/50 din înălțimea pilonului. Sistemul de zăbrele este triunghiular, cu sau fără bare suplimentare,

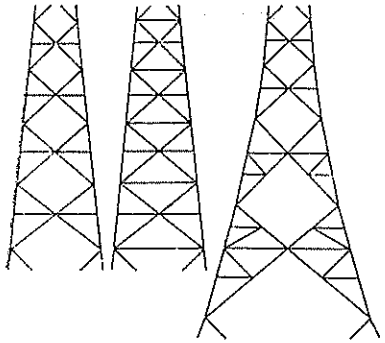


Fig. XXII.3. Sisteme de zăbrele.

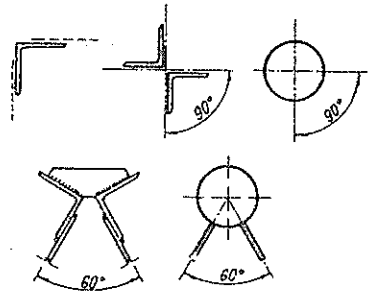


Fig. XXII.4. Secțiunile ramurilor.

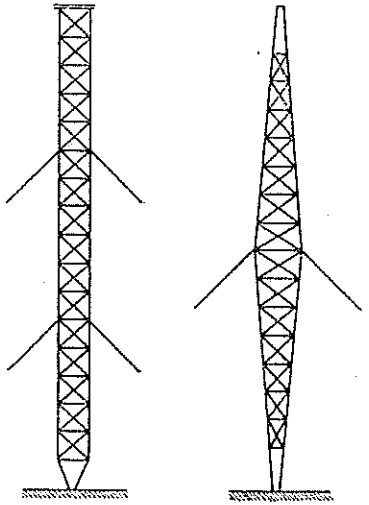


Fig. XXII.5. Piloni cu ancoraje.

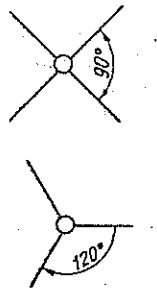


Fig. XXII.6. Direcții de ancorare.

în K, rombic sau cu diagonale încrucișate. Barele se fac din corniere sau din țevi; deși costul țevilor este mai ridicat, apare mai avantajoasă folosirea țevilor. Pilonii cu secțiune triunghiulară au o serie de avantaje față de cei cu secțiune dreptunghiulară; se reduce numărul de fundații și numărul cablurilor, iar greutatea construcției este ceva mai mică.

2. Calculul turnurilor și pilonilor

a. Calculul turnurilor

În cazul turnurilor, combinațiile de încărcări la care se face dimensionarea și verificarea săgeților, în afară de greutatea permanentă, sînt:

— vînt cu intensitate maximă și temperatura +20°C;
— gheață și vînt cu presiunea de bază $g_v = 30$ daN/m² și temperatura −5°C;
— temperatură maximă, fără vînt;
— temperatură minimă, fără vînt.

Deosebit de aceasta se consideră, dacă există, că se rup firele antenei de o parte a turnului, ceea ce duce la un efect de încovoiere maxim și că se rup numai jumătate din fire, ceea ce provoacă și un efect de răsucire.

La turnurile cu secțiunea pătrată, vîntul poate acționa perpendicular pe una din fețe sau după direcția unei diagonale (fig. XXII.7), în cazul unui turn cu secțiunea pătrată, eforturile din vînt cu direcția (*1*) sînt

$$M = \frac{We}{2b\cos\beta} \text{ și } D = \frac{We'}{4d} = \frac{W(h-e)}{4h\cos\alpha}. \qquad (XXII.2)$$

Cînd vîntul are direcția unei diagonale, eforturile sînt

$$M = \frac{We}{b\sqrt{2}\cos\beta} \text{ și } D = \frac{W(h-e)}{4\sqrt{2}\cos\alpha}. \qquad (XXII.3)$$

În cazul unui stîlp cu secțiunea triunghiulară, vîntul se consideră că bate paralel cu una din fețe sau după bisectoarea unui unghi (fig. XXII.8).

Eforturile pentru direcția (*1*), considerînd rezultanta presiunii vîntului pe linia centrului de greutate, sînt

$$M = \frac{We}{b\cos\beta} \text{ și } D = \frac{W(h-e)}{3h\cos\alpha} \qquad (XXII.4)$$

Pentru efortul în diagonale, presiunea vîntului în fața paralelă cu direcția vîntului este 2W/3.

Cînd vîntul are direcția (2) eforturile sînt

$$M = \frac{2We}{b\sqrt{3}\cos\beta} \text{ și } D = \frac{W(h-e)}{2\sqrt{3}h\cos\alpha}. \qquad (XXII.5)$$

Încărcarea permanentă pînă la nivelul respectiv dă eforturi axiale în ramuri, revenind unei ramuri $G/4$, respectiv $G/3$, care se însumează cu eforturile din vînt.

În cazul unei forțe orizontale aplicate excentric, trebuie luat în considerare și efectul de răsucire, care se obține înlocuind acțiunea forței excentrice W cu acțiunea unei forțe centrice W plus momentul $M_r = We$. Momentul de răsucire dă pe fețele turnului o serie de forțe transversale Q, a căror valoare este conform fig. XXII.9

$$Q = \frac{M_r}{2b} \text{ respectiv } Q = \frac{2M_r}{b\sqrt{3}} \qquad (XXII.6)$$

Se observă că forțele Q dau eforturi numai în diagonalele fețelor respective.

Barele suplimentare se verifică la un efort axial egal cu 1/100 din efortul ramurii cu care se întîlnește.

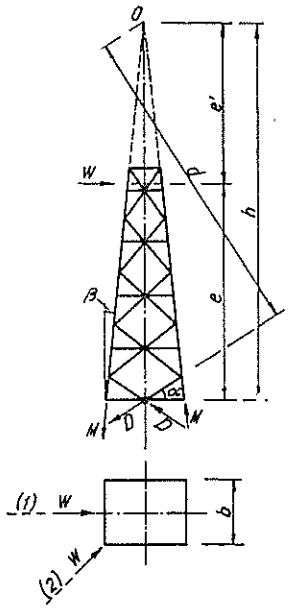


Fig. XXII.7. Schemă pentru calculul eforturilor.

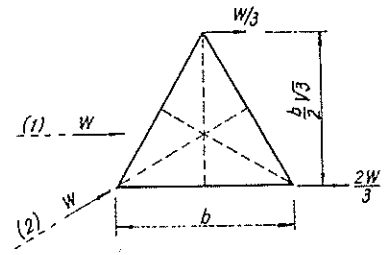


Fig. XXII.8. Direcția vîntului.

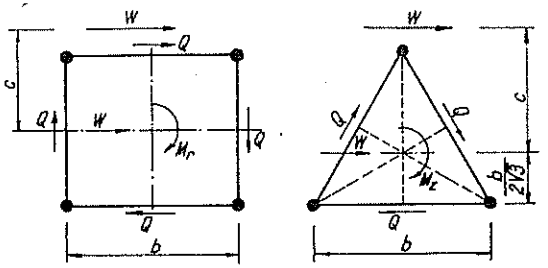


Fig. XXII.9. Efectele răsucirii.

b. Calculul pilonilor

Pilonii ancorați sînt construcții static nedeterminate, avînd reazeme elastice în dreptul punctelor de legare a cablurilor. Pentru calculul lor se stabilește mai întîi schema constructivă și numărul de cabluri de ancorare.

Pe baza unei dimensionări prealabile se alege secțiunea stîlpului pe diferite porțiuni și secțiunea cablurilor. În acest calcul, determinarea reacțiunilor în punctele de ancorare se face considerînd pilonul ca o bară con-

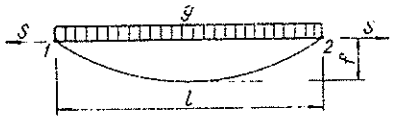


Fig. XXII.10. Elemente pentru calculul cablurilor.

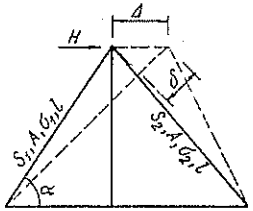


Fig. XXII.11. Efectul unei forțe orizontale în ancoraje.

tinuă cu reazeme netasabile. Se alege valoarea efortului σ_0, la care se face întinderea inițială a cablurilor și care este 0,3—0,5 din rezistența de calcul, care se poate lua $R = 0{,}33\sigma_r$; modulul de elasticitate E se consideră 1 600 000—1 800 000 daN/cm².

Deplasarea pe orizontală a punctelor de ancorare nu poate fi mai mare decît 1/100 din distanța pe verticală de la fundație la punctul considerat.

Verificarea finală se face considerînd pilonul cu reazeme elastice.

Într-un cablu, fixat în două puncte *1* și *2* (fig. XXII.10), deformata fiind asimilată cu o parabolă de gradul doi, apare un efort S, a cărui valoare este

$$S = \frac{gl^2}{8f}. \tag{XXII.7}$$

Notînd $g = A\gamma$ și $S = A\sigma$ se obține

$$f = \frac{\gamma l^2}{8\sigma}. \tag{XXII.8}$$

În aceste relații g este greutatea cablului pe metru, A aria secțiunii cablului și σ efortul unitar în cablu; în expresiile care urmează $\gamma = p/A$, adică are sensul unei încărcări specifice pe metru de cablu.

Considerînd distanța între punctele *1* și *2* egală cu l, lungimea cablului în stare deformată sub greutatea proprie este

$$L = l\left(1 + \frac{8}{3}\frac{f^2}{l^2}\right). \tag{XXII.9}$$

Diferența între arc și coardă este

$$L - l = \frac{8}{3}\frac{f^2}{l} = \frac{1}{24}\frac{\gamma^2}{\sigma^2}l^3. \tag{XXII.10}$$

Pentru un cablu a cărui coardă face cu orizontala un unghi α (cablul *1* din fig. XXII.11), această diferență este

$$\Delta'_1 = \frac{\gamma^2 l^3 \cos^2\alpha}{24\,\sigma_1^2}. \tag{XXII.11}$$

Sub efortul S_1 din acest cablu, se produce o deplasare pe direcția coardei egală cu

$$\Delta_1'' = \frac{S_1 l}{EA} = \frac{\sigma_1 l}{E}. \tag{XXII.12}$$

Variația totală a distanței l la cablul *1* este

$$\delta_1' = -\Delta_1' + \Delta_1'' = -\frac{\gamma_1^2 l^3 \cos^2\alpha}{24\sigma_1^2} + \frac{\sigma_1 l}{E}. \tag{XXII.13}$$

În cablu se dă un efort unitar inițial σ_0, în acel moment γ fiind egal cu γ_0; rezultă că δ este

$$\delta_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{E}l - \left[\frac{\gamma_1^2}{\sigma_1^2} - \frac{\gamma_0^2}{\sigma_0^2}\right]\frac{l^3\cos^2\alpha}{24}. \tag{XXII.14}$$

Considerînd un pilon cu secțiunea pătrată și direcția vîntului după diagonală, adică în planul cablurilor, deplasarea punctului de ancorare pe orizontală este

$$\Delta_1 = \frac{\delta_1}{\cos\alpha} = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{E\cos\alpha}l - \left[\left(\frac{\gamma_1}{\sigma_1}\right)^2 - \left(\frac{\gamma_0}{\sigma_0}\right)^2\right]\frac{l^3\cos\alpha}{24}. \tag{XXII.15}$$

În mod analog, pentru cablul *2*, situat de partea opusă vîntului, rezultă

$$-\Delta_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_0}{E\cos\alpha}l + \left[\left(\frac{\gamma_2}{\sigma_2}\right)^2 - \left(\frac{\gamma_0}{\sigma_0}\right)^2\right]\frac{l^3\cos\alpha}{24}. \tag{XXII.16}$$

Deplasarea Δ_1 este egală și de sens contra cu Δ_2; suma lor este deci egală cu zero

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E\cos\alpha}l - \left[\left(\frac{\gamma_1}{\sigma_1}\right)^2 - \left(\frac{\gamma_2}{\sigma_2}\right)^2\right]\frac{l^3\cos\alpha}{24} = 0. \tag{XXII.17}$$

O a doua relație între σ_1 și σ_2 se obține proiectînd eforturile din cabluri pe direcția forței H

$$A(\sigma_1 - \sigma_2)\cos\alpha = H \tag{XXII.18}$$

de unde rezultă

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{H}{A\cos\alpha}. \tag{XXII.19}$$

Sistemul de ecuații (XXII.17) și (XXII.19) se poate rezolva prin încercări. Dacă vîntul bate perpendicular pe una din fețe, adică dacă face un unghi de 45° cu direcția cablurilor (fig. XXII.12), se ține seama de ambele

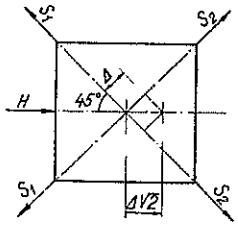


Fig. XXII.12. Vînt perpendicular pe una din fețe.

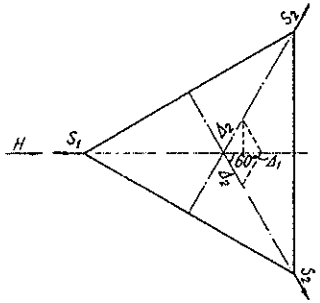


Fig. XXII.13. Vînt pe direcția unui cablu la un pilon triunghiular.

perechi de cabluri. Din cauza simetriei, eforturile în cabluri sînt egale două cîte două. Relația (XXII.17) rămîne aceeași. Relația (XXII.19) se modifică, intervenind și proiecția din planul orizontal, și devine

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{H}{A\sqrt{2}\cos\alpha}. \qquad \text{(XXII.20)}$$

În cazul unui pilon cu secțiune triunghiulară, vîntul avînd direcția în planul unui cablu (fig. XXII.13), deplasarea Δ_1 este egală și de semn contrar cu suma proiecțiilor deplasărilor Δ_2 ale cablurilor din partea opusă pe planul primului cablu, deci

$$\Delta_1 = 2\Delta_2 \cos 60°;$$

$$\frac{\delta_1}{\cos\alpha} = 2\frac{\delta_2}{2\cos\alpha} = 2\frac{\delta_2'}{\cos\alpha}. \qquad \text{(XXII.21)}$$

Rezultă că modificarea lungimii coardei l pe direcția ei este de două ori mai mare la cablurile *2*, decît la cablul *1*; relația (XXII.17) devine

$$\frac{\sigma_1 - 2\sigma_2}{\cos\alpha} l - \left[\left(\frac{\gamma_1}{\sigma_1}\right)^2 - 2\left(\frac{\gamma_2}{\sigma_2}\right)^2\right]\frac{l^3\cos\alpha}{24} = 0. \qquad \text{(XXII.22)}$$

Proiectînd eforturile din cele trei cabluri pe direcția forței H, rezultă

$$\sigma_1 A \cos\alpha - 2\sigma_2 A \cos\alpha \cos 60° = H$$

sau

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{H}{A\cos\alpha}. \qquad \text{(XXII.23)}$$

Cu aceste relații se pot stabili deplasările fiecărui punct de ancorare; în cazul pilonilor ancorați la mai multe niveluri, relațiile corespund unui sistem static de bază, în care se presupune pilonul articulat la fiecare punct de ancorare. Pentru a restabili continuitatea trebuie introduse momente egale și de semn contrar la fiecare articulație (fig. XXII.14), care sînt necunoscute. Admițînd într-o primă aproximație deplasările la fiecare reazem egale cu cele găsite în sistemul de bază și momentele de inerție constante pe fiecare deschidere, dar variabile de la o deschidere la alta, conform ecuației celor trei momente, se poate scrie

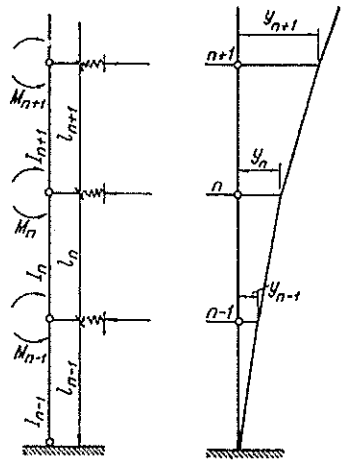


Fig. XXII.14. Pilon cu ancoraje la mai multe niveluri.

$$\frac{l_n}{I_n} M_{n-1} + 2\left[\frac{l_n}{I_n} + \frac{l_{n+1}}{I_{n+1}}\right] M_n + \frac{l_{n+1}}{I_{n+1}} M_{n+1} = -6\left[\frac{\mathcal{R}_n^s}{I_n} + \frac{\mathcal{R}^i_{n+1}}{I_{n+1}}\right] - 6E\left[\frac{y_n - y_{n-1}}{l_n} + \frac{y_n - y_{n+1}}{l_{n+1}}\right] \qquad \text{(XXII.24)}$$

în care notațiile au semnificația din fig. XII.14, iar $\mathcal{R}_n^s$ și $\mathcal{R}^i_{n+1}$ reprezintă reacțiunile unei grinzi fictive, simplu rezemate, încărcată cu diagrama de momente; indicele s arată că reacțiunea este a grinzii cu deschiderea l_n la capătul de sus, iar indicele i, pentru capătul inferior al grinzii cu deschiderea l_{n+1}.

Se poate scrie un număr de ecuații egal cu numărul reazemelor intermediare, deci cîte momente necunoscute sînt.

Cunoscînd momentele se pot determina reacțiunile la reazemele grinzii continue; pentru reazemul n, reacțiunea este

$$R_n = R_{ns} + \frac{M_{n-1} - M_n}{l_n} + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_{n+1}} \qquad \text{(XXII.25)}$$

în care R_{ns} este reacțiunea în n, dată de presiunea vîntului, deschiderile adiacente fiind considerate simplu rezemate.

În primă aproximație, reacțiunea $R_n \neq H_n$. Caracteristica elastică a reazemului n este

$$k_n = \frac{\Delta_n}{H_n} \qquad \text{(XXII.26)}$$

H_n fiind forța dată de vînt în punctul n; dacă se înmulțesc reacțiunile calculate cu k_n se obțin deplasări Δ'_n mai exacte

$$k_n = R_n = \frac{\Delta_n}{H_n} - R_n = \Delta'_n. \qquad \text{(XXII.27)}$$

Cu aceste noi deplasări se refac calculul, făcîndu-se o a doua aproximare.

Cu reacțiunile găsite în final, se recalculează eforturile din cabluri.

Avînd eforturile din cabluri, se determină eforturile axiale în pilon, din greutatea proprie a pilonului, la care se adaugă componentele verticale ale eforturilor din cablurile de ancorare. Pilonul se dimensionează ca o bară supusă la compresiune axială și încovoiere.

Verificarea stabilității pilonului, între punctele de ancorare, se poate face cu aproximație cu relația

$$\frac{N}{\varphi A} + \frac{M}{W} \leqslant \sigma_a \qquad \text{(XXII.28)}$$

în care A și W sînt aria și modulul de rezistență ale secțiunii pilonului, N fiind efortul axial și M semisuma momentelor de pe reazeme, dar nu mai puțin decît 0,5 M_{max}, M_{max} fiind valoarea cea mai mare a momentului în lungul porțiunii respective; coeficientul φ se ia pentru direcția cea mai defavorabilă (cu i_{min}), iar lungimea de flambaj egală cu distanța dintre punctele de ancorare.

XXIII. Buncăre

1. Alcătuire

a. Forme. Detalii constructive

Buncărele sînt construcții în care se depozitează diferite materiale, pentru scurt timp, în vederea alimentării continue a unor instalații, a transbordării dintr-un sistem de transport în altul, a sortării pe calități etc. Sînt folosite în diferite procese de fabricare, unde servesc drept depozite tampon. Capacitatea de înmagazinare a buncărelor este mică. Un buncăr este format dintr-o parte prismatică și dintr-o pîlnie, de forma unei piramide cu vîrful în jos (fig. XXIII.1). De obicei, partea superioară este mică, raportul h/b fiind, în general, mai mic decît 1,5, astfel că planul taluzului natural al materialelor depozitate, pornit de la partea inferioară a peretelui vertical, nu intersectează, de obicei, peretele opus.

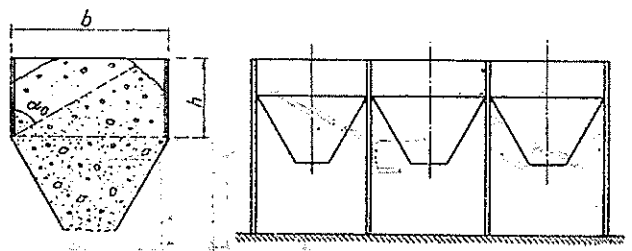


Fig. XXIII.1. Buncăre.

Buncărele se execută cu pereți plani, cu pereți rotunzi sau cu pereți flexibili.

Materialele se încarcă în buncăre pe la partea superioară și se scot pe la partea inferioară a pîlniilor. Aducerea materialelor se face cu vagoane de cale ferată normală sau îngustă, cu funiculare, cu benzi transportoare sau cu alte sisteme de transport continue. Se poate spune că prin buncăre materialele circulă în mod continuu, capacitatea lor de înmagazinare constituind o rezervă tampon de scurtă durată.

De regulă, buncărele sînt grupate mai multe în aceeași construcție, sînt așezate la oarecare înălțime, fiind susținute pe stîlpi sau pe alte elemente ale clădirii în care sînt instalate. Se pot afla în interiorul construcțiilor sau în exterior.

Pîlnia buncărelor are pereții înclinați sub un unghi care, față de verticală, este ceva mai mic decît unghiul taluzului natural al materialului, pentru ca golirea să se facă ușor sub acțiunea greutății proprii a materialelor. La partea inferioară a pîlniei se află o gură de descărcare, prevăzută cu un închizător.

Buncărele cu pereți plani au o formă simplă și se execută ușor. Elementele buncărului sînt alcătuite din pereți plani (fig. XXIII.2).

Pereții verticali sînt prevăzuți cu rigidizări din oțel lat sau din corniere, așezate vertical la distanțe de 1,5—2,0 m. La partea de sus și de jos a peretelui vertical se prevăd întăriturii orizontale; sus poate fi folosită o platbandă sau un profil U, iar jos, în locul din care pornește pîlnia, se prevede o rigidizare cu o cornieră, un profil U sau dublu T, după mărimea buncărului.

Pîlnia se rigidizează cu corniere orizontale prinse cu suduri continue sau întrerupte. Prinderea pîlniei de partea superioară se face fie direct, fie cu o prelungire scurtă. Tablele pereților verticali pot fi îndoite, pentru a forma elementul de prindere al pîlniei. Prinderea pîlniei de astfel de ieșinduri ușurează montajul.

Îmbinarea tablelor pereților la colțuri se poate face direct sau prin intermediul unei corniere. Înnădirea tablelor la buncărele mari se face prin fie sudură în adîncime, fie cu o eclisă așezată la interior. Gura pîlniei se întărește cu o ramă din corniere, de aripile cărora se prinde dispozitivul de închidere.

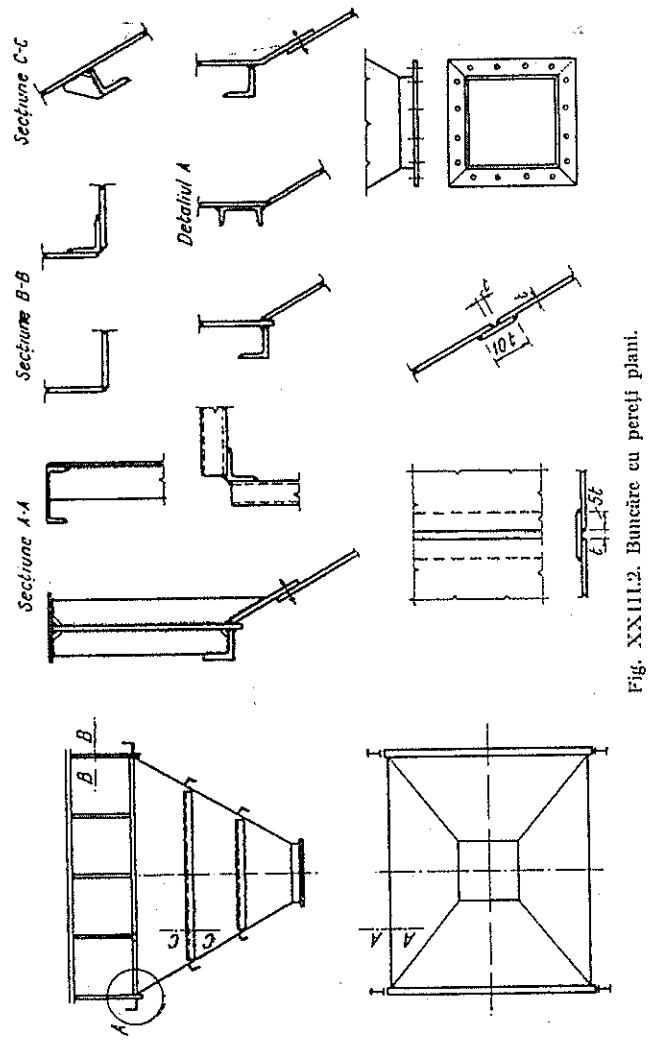


Fig. XXIII.2. Buncăre cu pereți plani.

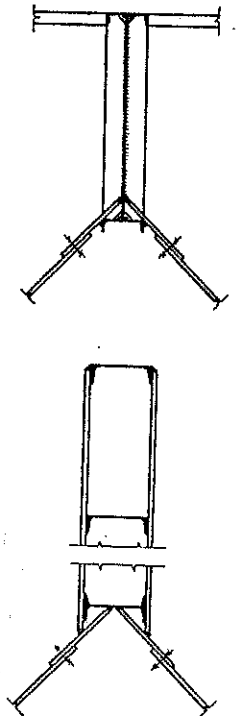


Fig. XXIII.3. Pereți intermediari.

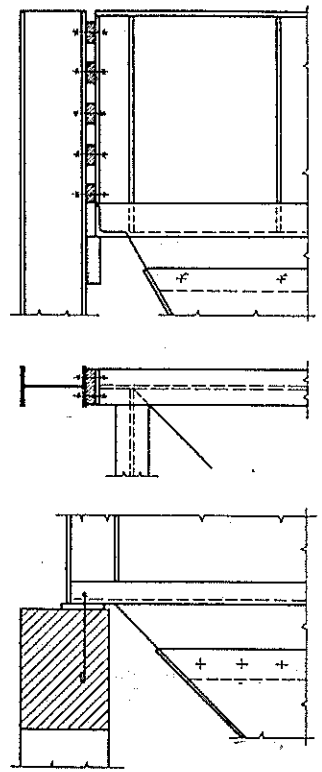


Fig. XXIII.4. Prinderea buncărului de stîlpi.

Cînd sînt mai multe buncăre, așezate unul lîngă altul, acestea se pot executa independent unul de altul sau grupat, avînd pereți comuni. Peretele comun, cu rigidizări verticale, are la partea inferioară o rigidizare orizontală comună de care se prind pîlniile. Peretele poate fi executat și dublu, rigidizările așezîndu-se la interior, vertical sau orizontal; tablele se prind de acestea prin suduri în găuri (fig. XXIII.3).

Rezemarea buncărelor se face simplu, prin scoaterea în afară a pereților laterali întăriți, care reazemă pe scaune fixate de stîlpii metalici sau pe capul stîlpilor (metalici ori din beton armat); buncărele se fixează de stîlpi cu buloane (fig. XXIII.4). Gruparea buncărelor se face pe un șir sau pe mai multe șiruri. Pîlniile pot avea gura de descărcare în axa lor sau la o margine; se fac și buncăre cu descărcarea pe două laturi (fig. XXIII.5).

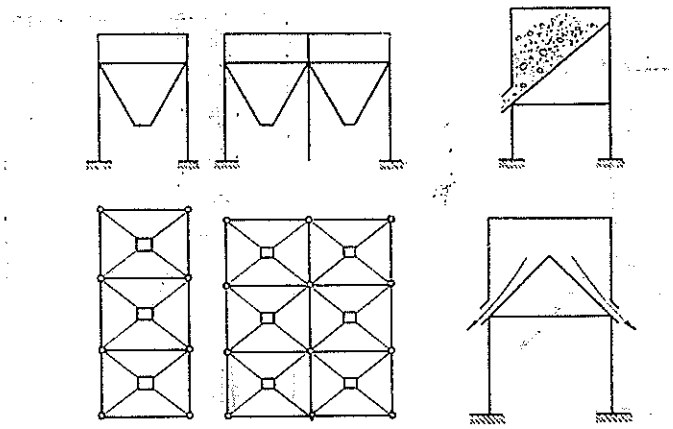


Fig. XXIII.5. Gruparea buncărelor.

Buncărele cu pereți rotunzi au în secțiune orizontală forma circulară; partea superioară este de formă cilindrică, iar pîlnia este de formă conică. Sînt avantajoase din punct de vedere al preluării încărcărilor, nu necesită rigidizări la pereți și la pîlnie și se pot folosi pentru capacități mari, diametrul lor variind între 3 și 10 m (fig. XXIII.6). Buncărele rotunde se utilizează, de obicei, izolate; gruparea mai multor buncăre rotunde nu este rațională. Rezemarea buncărelor rotunde pe construcții de susținere, prevăzute cu patru sau cu mai multe ramuri, se face la nivelul racordării părții cilindrice cu pîlnia. În acest loc buncărul are o rigiditate orizontală și reazeme amenajate pentru prinderea pe capul stîlpilor.

Buncărele cu pereți flexibili au o parte superioară cu pereți plani, verticali sau puțin înclinați și o parte inferioară de formă aproximativ parabolică (fig. XXIII.7). Partea parabolică, formată din tablă fără rigidizări transversale, este supusă la eforturi de întindere, ceea ce este foarte avantajos din punct de vedere al consumului de material. Aceste buncăre se fac cu dimensiuni mari, au 5—10 m lățime și pot avea orice lungime fără compartimentări interioare sau cu unele compartimentări, dacă acestea sînt cerute de necesitatea de sortare a materialelor depozitate. Se folosesc în practică acolo unde este nevoie de capacitate mare de înmagazinare, de exemplu la depozitele de minereuri și la fabricile de ciment. În general nu sînt avantajoase pentru capacități mici de depozitare.

Gurile de descărcare se așază lateral la partea inferioară și din distanță în distanță atît pe o parte cît și pe alta.

Partea flexibilă a buncărului se face din table așezate transversal, care se înnădesc prin petrecere la partea inferioară unde se introduc bucăți de

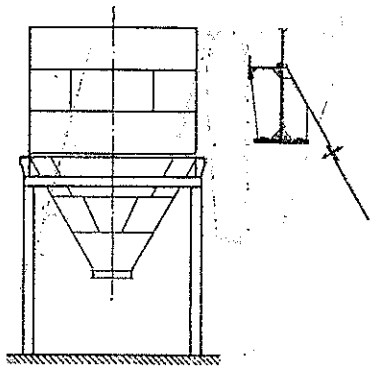


Fig. XXIII.6. Buncăr rotund.

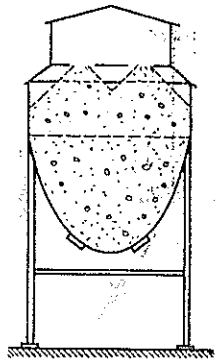


Fig. XXIII.7. Buncăr cu pereți flexibili.

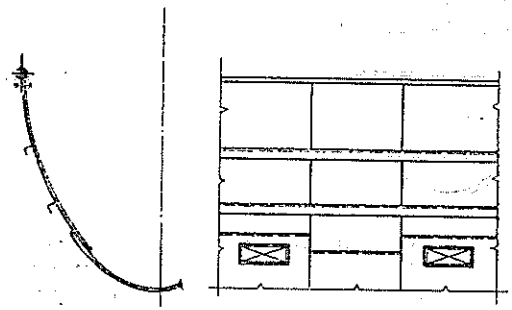


Fig. XXIII.8. Așezarea gurilor de descărcare.

tablă separate în care sînt amenajate gurile de descărcare (fig. XXIII.8). Aceste bucăți, care trebuie îndoite și prelucrate în ateliere, fiind scurte, se lucrează mai ușor. Îmbinările transversale, după curba directoare, se fac prin suduri în adîncime și se întăresc eventual cu eclise așezate numai la partea interioară. Cînd partea inferioară flexibilă este mare, se prevăd unele rigidizări dispuse longitudinal, alcătuite din corniere.

Partea flexibilă este susținută, după generatoare, de grinzi care sînt alcătuite și dezvoltate astfel încît să reziste pe deschiderea lor și la componentele orizontale date de partea parabolică. Este de dorit ca prinderea să fie făcută cu excentricități cît mai mici (fig. XXIII.9). Grinzile longitudinale care susțin partea flexibilă formează în general și pereții laterali ai părții

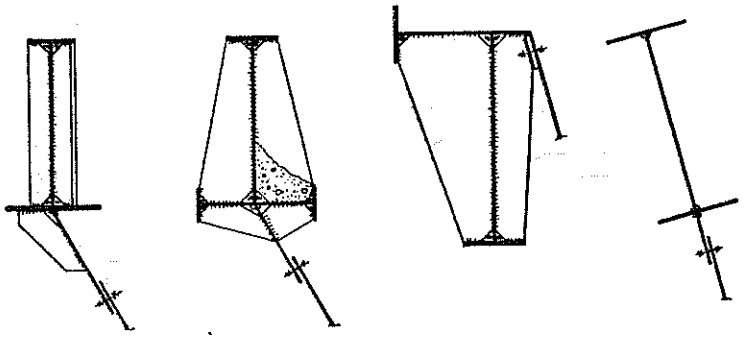


Fig. XXIII.9. Grinzi laterale.

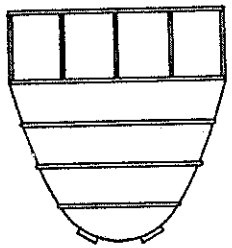


Fig. XXIII.10. Pereți de capăt.

superioare. Inimile lor se rigidizează din loc în loc, deoarece au de suportat încărcări laterale. Din distanță în distanță și cel puțin în dreptul stîlpilor de susținere, se prevăd la nivelul grinzilor laterale, grinzi transversale cu inimă plină sau cu zăbrele, care constituie reazeme pentru încărcările orizontale. La capete, buncărele flexibile se închid cu pereți verticali din tablă întăriți cu rigidizări (fig. XXIII.10).

b. Măsuri cerute de exploatare

Pentru a se putea aduce materialele pe la partea superioară se fac diferite amenajări în funcție de sistemul de transport: căi pentru vagoane de cale ferată susținute pe lonjeroni, platforme pentru benzi etc.

Pentru unele materiale este necesar ca buncărele să fie acoperite. Pentru manevrarea închizătoarelor se prevăd platforme la partea inferioară.

Din cauza frecării materialelor, pîlniile se uzează destul de repede în unele cazuri. Pentru a se putea înlocui pîlnia, este indicat ca prinderea pîlniilor să se facă cu șuruburi. Alteori, pîlniile se căptușesc la interior cu tablă

rezistentă la uzură, prinsă de pîlnie cu șuruburi; pîlniile se mai căptușesc și cu alte materiale: clincher, piatră etc. Între materialul de protecție și tabla pîlniei se interpune un strat de asfalt.

În unele cazuri este necesar ca buncărele situate în exterior să fie izolate termic. În general este suficient să se izoleze numai pîlnia. Alteori se prevăd instalații de încălzire cu abur sau cu aer cald numai la gura de descărcare a pîlniei. Dacă materialele depozitate se altercază la îngheț sau nu pot fi descărcate, buncărele se introduc într-un spațiu închis sau se închide numai partea superioară pînă la nivelul inferior al pîlniilor.

Unele buncăre servesc la depozitarea unor materiale fierbinți, cum este cazul buncărelor de la furnale la care se aduce minereu aglomerat la temperaturi de peste +300°C. În acest caz, este necesar ca buncărul să fie protejat împotriva acțiunii temperaturilor înalte. O soluție constă în a prevedea la interior o a doua tablă, la o mică distanță de tabla pîlniei și a pereților, prin care se lasă să treacă un curent de aer. De asemenea, întreaga construcție a buncărului se concepe astfel încît elementele de rezistență să fie răcite și prin exterior cu curenții de aer.

2. Calculul buncărelor

a. Elemente de calcul

Buncărul este supus la presiunea pe care materialele o dau asupra pereților, la încărcările date de utilajele susținute de construcția buncărului și la acțiunea vîntului pentru buncărele exterioare. Construcția buncărelor poate susține liniile căilor ferate de alimentare.

Presiunea dată de materialele depozitate, într-un punct oarecare, se determină cu relațiile

$$P_v = \gamma h \quad \text{și} \quad p_0 = \gamma h \operatorname{tg}^2(45° - \varphi/2), \qquad \text{(XXIII.1)}$$

în care γ este greutatea specifică a materialului, h înălțimea ocupată de material deasupra punctului considerat, φ unghiul taluzului natural al materialului, iar p_v și p_0 sînt presiunile exercitate de material, vertical și orizontal (fig. XXIII.11).

Pe un plan înclinat, care face cu orizontala unghiul α, presiunea normală este

$$p_n = p_v \cos^2\alpha + p_0 \sin^2\alpha. \qquad \text{(XXIII.2)}$$

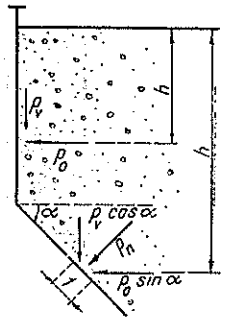


Fig. XXIII.11. Presiuni pe pereții buncărelor.

b. Calculul buncărelor cu pereți plani

Tabla pereților verticali se calculează ca o placă plană subțire supusă la încovoiere și întindere, astfel că efortul unitar este $\sigma = \sigma' + \sigma''$, în care $\sigma' = \frac{\pi^2 EI\alpha}{(1-\mu^2)a^2 l}$ și $\sigma'' = \frac{6p_0a^2}{\delta l^2} K$, unde a este deschiderea plăcii, δ grosimea ei, α un coeficient rezultat din ecuația $\alpha(1+\alpha)^2 = \frac{3f_0^2}{\delta^2}$ și K o funcție hiperbolică care depinde de $\frac{\pi}{2}\sqrt{\alpha}$ (v. cap. XVI, pct. 2, *a*).

Rigidizările verticale sînt grinzi simplu rezemate, cu deschidere l, cu o încărcare triunghiulară ap_0. La calculul lor se poate lua în considerare și o lățime de placă egală cu 20 δ, dacă sudura de prindere se verifică la alunecarea corespunzătoare.

Pereții pîlniei constituie, din punct de vedere static, plăci subțiri supuse la încovoiere și la întindere; deosebit de această solicitare, pereții mai sînt supuși la un efort de întindere, întrucît pîlnia este agățată de inelul de la partea ei superioară (fig. XXIII.12).

Încărcarea dată de presiunea p_n este variabilă cu adîncimea. La pîlnii mai mici se poate lua o presiune medie; la cele mai mari se poate face calculul pe zone. La eforturile unitare din încovoiere se adaugă și efortul unitar $\sigma''' = T/\delta$, în care T este efortul de întindere pe un centimetru lățime de placă, rezultat din relația de echilibru

$$TU \sin\alpha = Ap_v + G_2 = G_1 + G_2 = G. \qquad \text{(XXIII.3)}$$

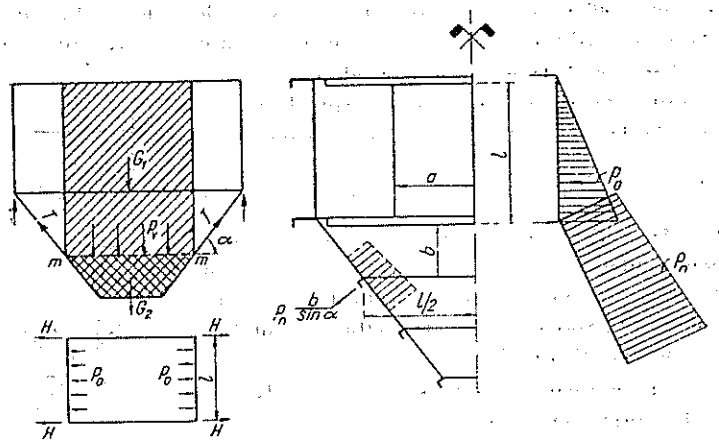


Fig. XXIII.12. Elemente pentru calcul.

În această relație, U este perimetrul într-o secțiune $m-m$, G_1 presiunea exercitată pe suprafața secțiunii $m-m$ și G_2 greutatea materialului, a pîlniei și a utilajelor de sub secțiunea $m-m$. Efortul unitar total după direcția pantei pîlniei este deci $\sigma = \sigma' + \sigma'' + \sigma'''$ (la determinarea eforturilor unitare σ' și σ'' s-a neglijat efectul efortului T).

Trebuie observat că în placa pîlniei se dezvoltă și alt efort σ_1 normal pe primul, avînd direcția orizontală, datorită presiunilor p_0 pe fețele opuse ale pîlniei. Valoarea acestui efort unitar este $\sigma = p_0 l/2\delta$.

La calculul acestor eforturi se pot socoti și rigidizările orizontale ale pîlniei; în acest caz, efortul unitar este $\sigma = p_0 bl/2A$, în care A este aria secțiunii tablei pe lățimea b, plus aria secțiunii rigidizării orizontale.

Rigidizările pîlniei se calculează la încărcarea normală $p = p_n b/\sin\alpha$, p_n fiind presiunea din dreptul rigidizării, iar b distanța dintre mijloacele deschiderilor vecine. Așa cum se realizează rigidizările pot fi considerate ca grinzi simplu rezemate. În secțiunea rigidizării poate fi introdusă și o lățime de placă egală cu 20 δ.

Inelul de la racordarea pîlniei cu partea verticală primește o serie de solicitări de la partea verticală și de la pîlnie (fig. XXIII.13). Considerate distribuite uniform, acestea sînt:

— de la peretele vertical

$$q_1 = p_0 h_v/3,$$

p_0 fiind presiunea la bază;

— de la porțiunea de pîlnie dintre inel și prima rigidizare

$$q_2 = \frac{p_n b_1 \sin\alpha}{2},$$

p_n fiind presiunea normală medie pe lungimea b_1;

— de la pîlnia agățată de inel

$$q_3 = T\cos\alpha = \frac{G}{U}\operatorname{ctg}\alpha \text{ și}$$

$$q_v = T\sin\alpha = G/U.$$

Inelul este solicitat deci de încărcarea orizontală

$$q_o = q_3 - (q_1 + q_2), \qquad \text{(XXIII.4)}$$

precum și de o încărcare verticală q_v.

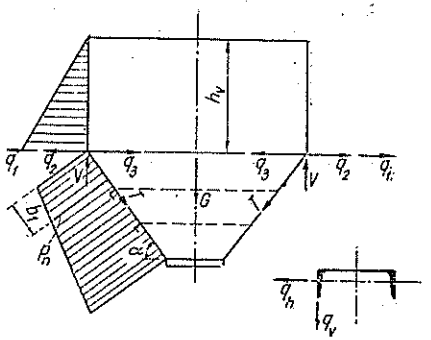


Fig. XXIII.13. Încărcările inelului.

Încărcările orizontale dau în inel momente încovoietoare și eforturi axiale, rezultate din considerarea inelului ca un cadru orizontal. Dacă barele nu sînt legate rigid la colțuri, nodurile cadrului pot fi considerate articulate.

Valoarea momentului maxim este $M = q_0 l^2/8$, l fiind latura inelului, iar valoarea efortului axial $N = q_0 l/2$, pentru un cadru cu secțiunea pătrată. În cazul în care barele sînt legate rigid între ele la colțuri, valoarea momentelor este:

$$M_r = -q_0 l^2/12 \text{ la colțuri și } M_d = +q_0 l^2/24 \text{ pe deschidere.}$$

Pentru buncăre care nu au secțiunea pătrată, valorile momentelor și ale forțelor axiale se deduc ușor. Încărcarea verticală solicită grinda verticală a peretelui, care este formată din rigidizările orizontale, superioare și inferioare, legate între ele cu tabla peretelui. Eforturile se determină ca într-o grindă cu inimă plină, după condițiile de rezemare.

Cînd pentru susținerea buncărelor nu sînt prevăzuți stîlpi la colțurile fiecărui buncăr, se alcătuiesc grinzi care susțin două sau mai multe buncăre între doi stîlpi; aceste grinzi se realizează, fie tratînd în mod corespunzător pereții verticali ai buncărelor, fie separat de acești pereți.

Pereții verticali ai buncărelor au în unele cazuri de suportat și alte încărcări din convoaie de cale ferată sau din alte utilaje de transport susținute de pereți, încărcări de care trebuie să se țină seama la dimensionarea lor.

c. Calculul buncărelor cu pereți flexibili

Sub acțiunea încărcării, tabla care formează pîlnia buncărului, neglijînd rigiditatea neînsemnată a tablei, ia forma corespunzătoare poligonului funicular, dat de încărcarea utilă și de greutatea proprie. Pentru încărcări parțiale sau nesimetrice această curbă se modifică, însă modificarea nu prezintă o importanță practică, pereții fiind flexibili.

Dimensiunile buncărului, deschiderea $2l$, săgeata f și lungimea L, se determină pe baza capacității necesare de înmagazinare. Este recomandabil ca săgeata să fie mai mare decît deschiderea și astfel aleasă, încît reacțiunea T la partea superioară să fie cît mai puțin depărtată de verticală. Pe baza capacității de înmagazinare se poate determina deci aria secțiunii necesară A a buncărului. Considerînd încărcată numai partea flexibilă a buncărului și asimilînd încărcarea pîlniei cu o încărcare triunghiulară, se poate determina o curbă funiculară cu relația (fig. XXIII.14)

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{p_x}{H} \qquad \text{(XXIII.5)}$$

unde H este componenta orizontală constantă a efortului de întindere din tablă.

Încărcarea p maximă rezultă din relația $pl = A$, iar $p_x = p(l - x)/l$.

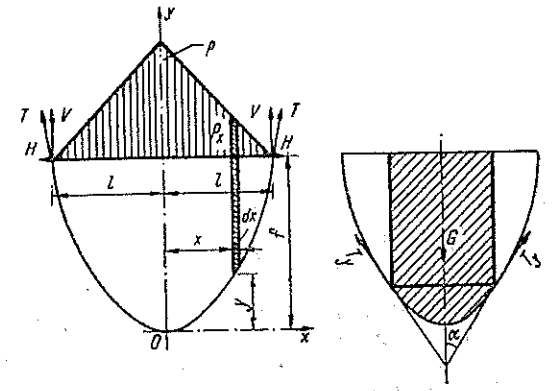


Fig. XXIII.14. Încărcarea pîlniei flexibile.

Înlocuind, se obține

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{p}{H} - \frac{p}{Hl}x. \qquad \text{(XXIII.6)}$$

Prin integrare rezultă:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{px}{H} - \frac{p}{2Hl}x^2 + C_1 \text{ și } y = \frac{px^2}{2H} - \frac{p}{6Hl}x^3 + C_1x + C_2.$$

Pentru $x = 0$, $y = 0$ și $\frac{dy}{dx} = 0$, deci $C_1 = C_2 = 0$, astfel că

$$y = \frac{p}{2H}x^2 - \frac{p}{6Hl}x^3 = \frac{px^2}{2H}\left(1 - \frac{x}{3l}\right). \qquad \text{(XXIII.7)}$$

Reacțiunea verticală este $V = pl/2$. Momentul în raport cu punctul O fiind zero, rezultă

$$\frac{pl^2}{2} - Hf - \frac{pl^2}{6} = 0 \text{ și } \frac{p}{H} = \frac{3f}{l^2}.$$

Înlocuind se obține expresia funcției y

$$y = \frac{3f}{2l^2}x^2\left(1 - \frac{x}{3l}\right). \qquad \text{(XXIII.8)}$$

Mai departe se poate determina o relație între A și elementele secțiunii buncărului, scriind că

$$A = 2\int_0^l (f - y)dx$$

sau

$$A = 2f\int_0^l \left(1 - \frac{3x^2}{2l^2} + \frac{x^3}{2l^3}\right) dx, \qquad \text{(XXIII.9)}$$

de unde rezultă

$$A = 5fl/4.$$

Se pot astfel determina valorile lui H și T, care sînt

$$H = \frac{pl^2}{3f} = \frac{5pl^3}{12A} \text{ și } T = \sqrt{H^2 + V^2}.$$

Verificarea tablei buncărului trebuie făcută la nivelul gurilor de descărcare, unde secțiunea este mult slăbită. Însemnînd cu d distanța dintre axele a două guri de descărcare și cu a latura unei guri, secțiunea netă a tablei este $A_t = (d - a)l$. Efortul în tablă la înălțimea y deasupra fundului se poate calcula direct, fiind egal cu $T_y = Gd/2 \sin \alpha$, unde G este greutatea materialului deasupra și dedesubtul secțiunii făcute pentru un metru lungime de buncăr.

Înnădirile pe orizontală ale tablei și prinderea acesteia de grinzile longitudinale se calculează la efortul T.

Grinzile longitudinale sînt supuse la acțiunea efortului T, care dă componentele orizontale H și componentele verticale V. După modul de construcție, pereții acestor grinzi pot primi și presiuni laterale de la materialul depozitat, cînd încărcarea se face astfel decît depășește nivelul pîlniei. Vertical, grinzile longitudinale reazemă pe stîlpi, independent pe fiecare deschidere sau sînt grinzi continue; momentele se determină în mod corespunzător. După modul în care este realizată prinderea pîlniei, forțele orizontale pot fi luate de talpa inferioară, de talpa superioară sau de întreaga grindă. Dacă între cele două grinzi sînt introduse legături transversale buncărului, deschiderea pentru încărcările orizontale se ia egală cu distanța dintre aceste legături, care poate fi mai mică decît distanța dintre doi stîlpi. Orizontal, grinda este continuă, eventual, cu articulații în dreptul stîlpilor.

Într-un punct oarecare al secțiunii grinzii se va dezvolta deci efortul unitar $\sigma = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x$, în care M_x și M_y sînt momentele din încărcările verticale și orizontale sau componentele lor după axele principale la grinzile înclinate, I_x momentul de inerție al întregii grinzi în raport cu axa $x—x$ și I_y momentul de inerție al părții din secțiune care ia forțele orizontale, în raport cu axa sa proprie $y—y$. După modul de prindere al pîlniei, este posibil să rezulte și solicitări de răsucire, care însă este de dorit să fie cît mai mici. La determinarea momentelor de răsucire se va ține seama de legăturile transversale.

Grinzile tranversale de legătură dintre cele două grinzi longitudinale sînt supuse la:

— o forță dirijată în lungul legăturii $F = Hl$, dată de componentele orizontale ale încărcărilor grinzilor longitudinale, l fiind distanța între două legături: această forță poate fi aplicată excentric;

— un moment încovoietor dat de încărcările de pe platformele superioare, care obișnuit sînt susținute de aceste grinzi;

— un moment încovoietor, rezultat din momentul de răsucire — reacțiune al grinzilor longitudinale;

— un moment încovoietor orizontal, rezultat din împingerea eventuală a materialului, care ar depăși nivelul inferior al grinzii.

XXIV. Rezervoare

1. Considerații generale

a. Particularități

În categoria rezervoarelor intră construcții executate din tablă și care, prin forma și alcătuirea lor, sînt solicitate în principal la întindere. Pot fi considerate în aceeași categorie și o serie de construcții din tablă, care se folosesc la instalațiile tehnologice din siderurgie, în industria metalurgică, în industria chimică, petrolieră etc., sub formă de recipienți, separatoare de praf, cazane etc.

Unele din aceste construcții sînt supuse la solicitări date de presiunea normală a lichidelor sau gazelor din interior, altele se găsesc în situația de a suporta presiuni mari și temperaturi ridicate. În unele cazuri, construcția se găsește în condiții defavorabile din punctul de vedere al coroziunii fiind în aer liber sau îngropată; în alte cazuri tabla este expusă acțiunii corosive a materialelor pe care le conține rezervorul.

Elementele construcției din tablă avînd grosime mică sub acțiunea încărcărilor se comportă ca membrane intervenind unele perturbări locale numai în zonele de legătură între pereți și fund, în punctele de rezemare sau la rigidizări.

Din aceste motive este rațional ca forma acestor construcții să fie astfel încît în tablele care le alcătuiesc să predomine eforturile de întindere. Eforturile mari de compresiune atrag pericolul de voalare și de pierdere a stabilității generale, pentru împiedicarea cărora ar fi necesare rigidizări suplimentare, adesea costisitoare.

În ipoteza de membrană, la elementele din tablă ale construcției, considerate reduse la suprafața lor mediană, echilibrul este asigurat numai de

eforturile unitare uniform distribuite pe grosimea tablei. Această ipoteză este valabilă cu suficientă exactitate deoarece peretele este foarte subțire.

La legătura pereților cu fundurile construcției, la îmbinări la care se produce o discontinuitate sau la legăturile cu părți rigide, starea de deformare a membranei se schimbă brusc și apar unele momente; aceste momente care în unele cazuri pot fi importante, scad însă foarte repede la o mică distanță de locul unde s-au produs și au deci numai un efect local. De aceste efecte, numite efecte de margine, este necesar să se țină seama la proiectarea și la verificarea construcțiilor din tablă. Efectul lor este în special periculos la construcții la care intervin variații mari și dese în dezvoltarea eforturilor.

Rezervoarele se fac din OL37 sau din OL34 și în cazuri speciale din oțeluri de calitate superioară; folosirea acestora este justificată de eforturile mari care se dezvoltă sau de rezistența specială la coroziune. Pentru construcțiile sudate, oțelurile trebuie să îndeplinească condițiile de sudabilitate; sînt preferabile oțelurilor Martin calmate sau altele similare; oțelurile necalmate, de convertizoare, nu sînt admise la construcțiile din tablă sudate.

Grosimea tablelor trebuie aleasă pe baza calculelor de rezistență, solicitările fiind stabilite pe baza unor ipoteze de calcul cît mai apropiate de comportarea reală, cu excepția cazurilor în care dimensiunile tablei ar rezulta sub cele minime, admise constructiv. Pentru uzură prin ruginire sau prin acțiuni mecanice se dau sporuri de grosime strict necesare. Trebuie ținut seama că fiecare milimetru în plus la grosime aduce un spor de consum de oțel de circa 8 kg/m².

La construcțiile din tablă un element care pune în evidență buna folosire a materialului este coeficientul dat de raportul dintre rezistența îmbinării și aceea a materialului de bază; este de dorit ca acest raport să fie cît mai aproape de 1,0.

Buna utilizare a materialului impune ca dimensiunile rezervorului și și ale tablelor să fie astfel alese, încît să nu rezulte pierderi de material prin tăierea neraționalâ a tablelor.

Este indicat să se dea o dată cu proiectul rezervorului și modul de tăiere a tablelor.

b. Îmbinări sudate

Îmbinările rezervoarelor sînt în general îmbinări de rezistență-etanșare, avînd rolul de a lua eforturile care se dezvoltă în îmbinare și de a închide bine rosturile îmbinărilor, pentru a nu se produce pierderi de lichide sau de gaze care se găsesc în interiorul construcției. Îmbinările se execută sudate și mai rar nituite; construcțiile din tablă sudate sînt mai economice decît cele nituite; se realizează cu un consum mai redus de material și se execută mai ușor.

Pentru a se realiza etanșarea, la construcțiile nituite se fac o serie de operații complicate, în unele cazuri fiind necesar să se păsuiască elementele

care se îmbină, eliminîndu-se deformațiile locale, iar niturile se așază mai apropiate; îmbinarea se ștemuiește, îndesîndu-se materialul în jurul capetelor de nit și la marginile pieselor.

La executarea construcțiilor din table intervin o serie de operații, diferite de cele care se întîlnesc la construcțiile obișnuite. Pentru elementele cilindrice, tabla se curbează prin vălțuire; elementele cu curbură dublă, cum sînt fundurile rezervoarelor, pereții unor construcții și altele se obțin prin presare cu ajutorul matrițelor. Pentru unele piese este necesar ca marginile să se îndoaie, pentru ca sudura să se facă în afara zonei de schimbare a tangentei.

Îmbinările sudate, executate cu suduri în adîncime, care se comportă mai bine la diferite solicitări decît sudurile în relief, sînt cele mai raționale. Este preferabil ca sudurile să se execute automat sub strat de flux. Cordoanele de sudură executate la montaj pe șantier pot avea poziție orizontală sau verticală pe un perete vertical (fig. XXIV.1). Pregătirea capetelor la cordoanele orizontale se face cu fața piesei de jos orizontală. Unghiurile tăieturilor se iau de 45° sau puțin mai mari. La sudurile executate pe o parte se folosesc suporți de cupru pe partea rădăcinii sudurii; altfel rădăcina se resudează.

Cînd tablele nu au aceeași grosime, racordarea se face prin tăierea tablei mai groase sub un unghi cu o înclinare de la 1/5 la 1/4.

Suduri în relief se fac la sudarea pereților de fundurile rezervoarelor. Sudurile prin petrecere se folosesc la sudarea unor rezervoare mici, la sudurile inelare și atunci cînd tablele sînt subțiri; se mai folosesc la sudarea tablelor de fund, la rezervoarele așezate pe pămînt, la sudarea acoperișurilor rezervoarelor și în general acolo unde îmbinările cap la cap, care cer o mare precizie de execuție și de tăiere a pieselor, nu sînt necesare. În unele cazuri, la montaj apar și suduri care se execută peste cap, de exemplu sudarea virolelor la îmbinarea orizontală făcută prin petrecere la rezervoarele mari. În acest caz, sudura care se execută în poziție normală (cea de sus) se face continuă; cea de jos, executată peste cap, se face fie continuă, fie întreruptă. Restul cordoanelor de sudură se execută continuu; sudurile manuale se execută cu electrozi cu înveliș gros și cu proprietăți bune, corespunzătoare materialului care se sudează.

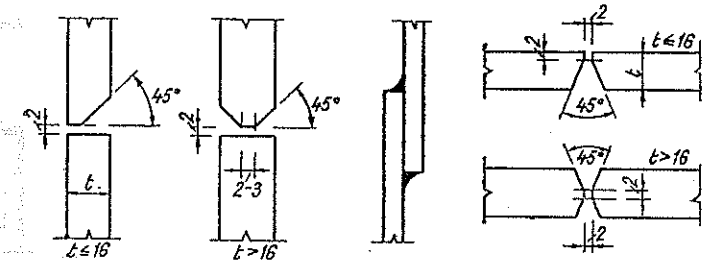


Fig. XXIV.1. Îmbinări sudate.

2. Alcătuirea rezervoarelor

a. Rezervoare cilindrice cu fund plan

Rezervoarele cilindrice cu fundul plan sînt așezate direct pe sol, care este amenajat în acest scop. Se folosesc pentru depozitarea produselor lichide în depozite, în industria petrolieră etc. (fig. XXIV.2). În unele cazuri se fac rezervoare cu fundul plan cu capacitate mai mică, așezate pe diferite construcții.

Un rezervor cu fundul plan este alcătuit din fundul plan, peretele vertical (mantaua cilindrică) și capac. Dimensiunile acestor rezervoare sînt standardizate pentru capacități nominale între 50 și 5 500 m³; diametrul exterior variază între 3 750 și 26 000 mm, iar înălțimea, între 4 715 și 10 835 mm; pentru unele scopuri se realizează rezervoare cu capacități mai mari.

Mantaua rezervorului este alcătuită din mai multe virole, așezate pe înălțime. O virolă are lățimea egală cu aceea a tablelor și este formată din mai multe table, îmbinate între ele cap la cap prin sudură în adîncime. La rezervoarele nituite tablele aceleiași virole se înnădesc prin suprapunere sau cu eclise (fig. XXIV.3). Grosimea tablelor se determină prin calcul, dar nu va fi mai mică decît 4 mm. Așezarea virolelor la construcțiile sudate se face de obicei telescopic, virola superioară intrînd puțin în cea inferioară; în acest caz sudurile exterioare se execută normal, iar cele interioare peste cap. Sudurile virolelor se fac continue; sudurile interioare se pot face întrerupte, dacă materialele conținute de rezervor nu sînt periculoase din punct de vedere al coroziunii. Sudarea virolelor se face uneori cu suduri în adîncime; acesta însă cere o execuție îngrijită a marginilor virolelor. La construcțiile nituite, așezarea virolelor se execută în trepte, marginile unei virole fiind acoperite de virolele vecine. La așezarea virolelor trebuie ca rosturile verticale ale virolelor vecine să fie decalate pe orizontală cu cel puțin 500 mm.

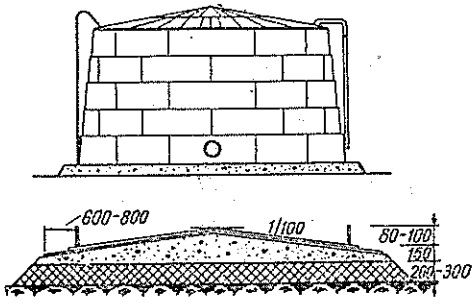


Fig. XXIV.2. Rezervor cu fund plan.

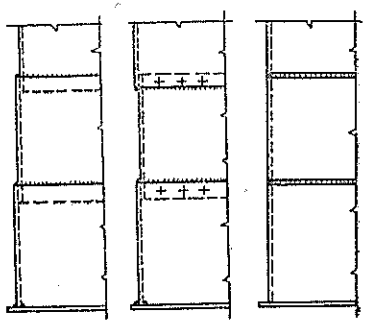


Fig. XXIV.3. Montarea virolelor.

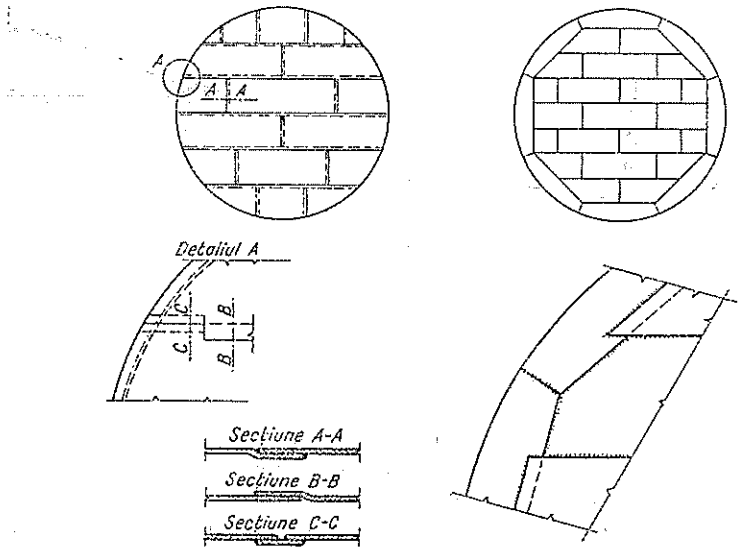


Fig. XXIV.4. Așezarea tablelor fundului.

Fundul plat al rezervorului este format din table tăiate drept și din table de margine tăiate rotund sau înclinat; piesele așezate pe margine și tăiate pe o latură curb și pe alta drept se numesc segmenți (fig. XXIV.4). Tablele fundului se îmbină transversal prin suprapunere, una din table îndoindu-se; lateral ele se suprapun. Spre margine, pentru a se obține o suprafață plană pe care se așază mantaua, tablele se taie și se bat cu ciocanul pînă cînd marginile laterale ajung cap la cap. Cînd se folosesc segmenți, unele table se prind de segmenți prin sudură în adîncime, iar altele fiind așezate petrecut peste segmenți și peste tablele vecine, se prind prin sudură în relief. La rezervoarele mari, din cauza eforturilor suplimentare date de suduri, în cazul fundurilor cu segmenți, pot să apară fisuri. Fundul rezervorului se sudează direct pe pămînt, ceea ce oferă și avantajul că se reduc contracțiile prin sudură.

Pentru a se evita ruginirea tablelor fundului, acestea se vopsesc cu bitum înainte de a fi așezate pe patul de nisip. Terenul pe care se așază rezervorul se amenajează ca o platformă ridicată cu 200—300 mm peste terenul înconjurător; pentru a se împiedica ridicarea apei prin capilaritate, se așază un strat de nisip de circa 150 mm grosime, bine bătut și cu o înclinare de 1/100 de la centru spre margine. Rezultate mai bune se obțin prin așezarea peste stratul de nisip a unui strat de pămînt stabilizat, tratat cu emulsie de bitum.

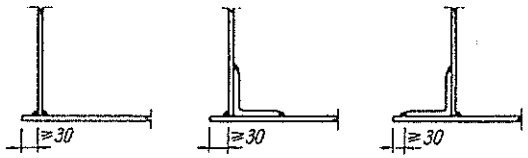


Fig. XXIV.5. Prinderea mantalei de fund.

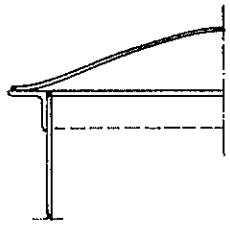


Fig. XXIV.6. Capac autoportant.

Prinderea mantalei de fund la rezervoarele sudate se face direct, prin sudură în relief sau cu ajutorul unei corniere, așezată la exterior sau la interior. La rezervoarele nituite prinderea se face cu una sau două corniere (fig. XXIV.5).

Capacul rezervorului, la rezervoarele mici, se face autoportant (fig. XXIV.6), sub formă de cupolă sferică sau conică; la rezervoarele cu diametru mare, capacul se face conic sau în formă de cupolă sferică, tabla fiind întărită cu nervuri sau susținută cu o șarpantă metalică. În acest caz se poate folosi o tablă mai subțire, cu grosimea de 2,5—4 mm. Învelitoarea autoportantă poate impune grosimi de tablă de peste 4 mm. Tablele se taie și se îmbină radial prin petrecere. Din cauză că această învelitoare dă eforturi de împingere la margine, virola superioară a mantalei se întărește cu o cornieră, care formează și inelul de bază al cupolei. La acoperișurile susținute, șarpanta se realizează din grinzi macaz sau din ferme, așezate radial și prinse la centru de o piesă cilindrică pe care sînt sudate gusee (fig. XXIV.7). La margine, fermele reazemă pe scaune, prinse pe mantaua rezervorului, de care se sudează; scaunele se prelungesc vertical pe o oarecare înălțime prin rigidizări, pentru a întări tabla mantalei la reazemele fermelor. Fermele cu deschidere

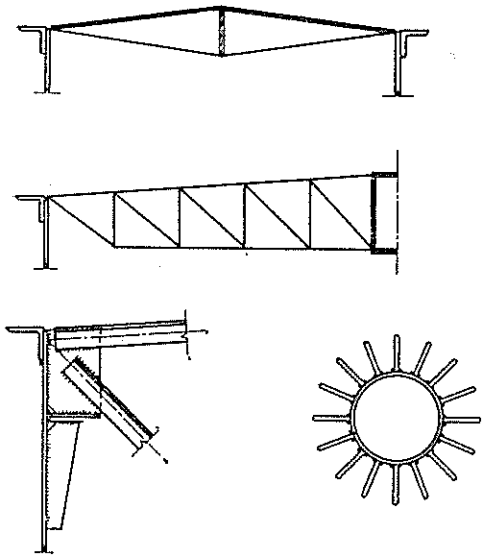


Fig. XXIV.7. Ferme pentru susținerea acoperișului.

mai mare sînt prevăzute și cu unele contravîntuiri în planul învelitorii și în plan vertical. Se prevăd o serie de legături așezate inelar care joacă rolul de pane; peste ele se așază radial căpriori, astfel încît deschiderile tablelor să nu depășească 2—3 m, în funcție de grosimea lor. Tablele se sudează între ele (prin petrecere) de căpriori și de inelul mantalei. Alcătuirea acoperișului de tablă se face astfel încît acesta să realizeze și etanșarea rezervorului, nu numai protecția la partea superioară.

b. Rezervoare cilindrice verticale cu funduri curbe

Rezervoarele cilindrice verticale sînt așezate la înălțime pe construcții sau platforme, după scopul în care sînt utilizate. Servesc pentru alimentarea cu apă a unor zone populate, a industriilor, în stațiile de cale ferată, în diferite instalații din industria chimică etc. Se construiesc astfel de rezervoare de capacități mari, care pot ajunge pînă la 3 000 m³. Rezervoarele cu fundul plat așezate pe grinzi sau pe planșee, deși se construiesc mai ușor, nu sînt economice deoarece impun executarea unor planșee grele. Se folosesc în unele cazuri numai pentru capacități mici. Un rezervor cu fundul curb este alcătuit dintr-un perete de formă cilindrică, dintr-un fund curb, de formă conică, sferică sau combinată și dintr-un capac. Se execută și alte funduri, cu forme mai complicate, fie din motive de execuție, fie din motive de comportare. Uneori, cînd sînt așezate în spații închise, rezervoarele verticale pot să nu fie prevăzute cu capac.

Pereții verticali cilindrici ai rezervoarelor verticale cu fundul curb se execută la fel ca pereții rezervoarelor cu fundul plan. Îmbinările tablelor și virolelor se execută prin sudură în adîncine; numai la rezervoare mari îmbinarea virolelor se execută prin petrecere.

Fundurile rezervoarelor se execută în diferite forme (fig. XXIV.8). Fundurile cu o calotă sferică sînt des folosite, fiind avantajoase din punct de vedere al consumului de material. Săgeata calotei sferice se ia aproximativ $r/3$, r fiind raza părții cilindrice. Fundurile sferice cu convexitatea în sus sînt solicitate la eforturi de compresiune și, la dimensiuni mari, există pericolul pierderii stabilității; sînt folosite rar. Fundul rezervoarelor verticale se poate executa conic; execuția este mai simplă ca la cele sferice, dar consumul de oțel este ceva mai mare. La rezervoare mai mari se folosesc funduri combinate dintr-o parte conică și alta sferică, dispusă cu convexitatea în sus. Aceste tipuri au avantajul, cînd dimensiunile fundului sînt alese convenabil, că dau asupra inelului de bază numai solicitări verticale și astfel se reduc dimensiunile construcției de susținere. În schimb, depunerile interioare se curăță greu și inelul este expus să ruginească mai repede.

Fundurile cu dublă curbură ale rezervoarelor se execută pe matrițe, prin presare; pentru a simplifica execuția se fac rezervoare cu fundul alcătuit din mai multe foi cilindrice egale, care se execută mai ușor prin vălțuire.

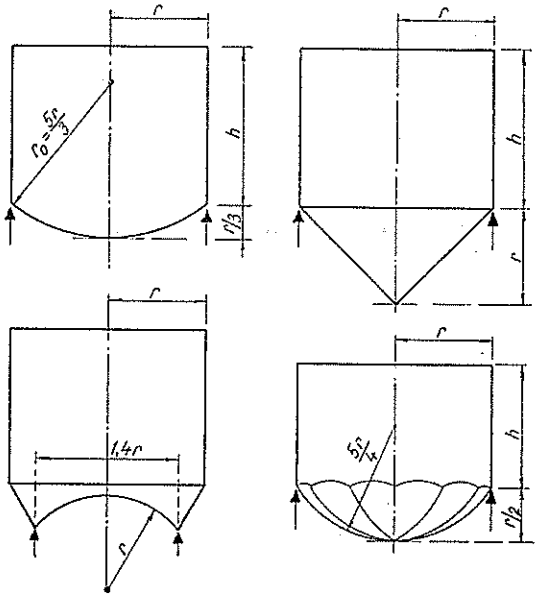


Fig. XXIV.8. Fundurile rezervoarelor verticale.

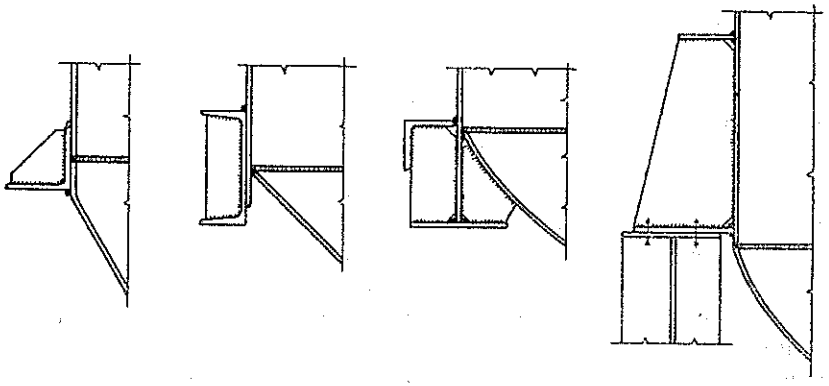


Fig. XXIV.9. Grinzi inelare și prinderea inelului.

La legătura dintre peretele vertical și fundul curb, în afară de componentele verticale, apar componentele orizontale și chiar unele momente de răsucire; de aceea este necesară prevederea unui inel (fig. XXIV.9). Alcătuirea și dezvoltarea inelului se face în funcție de mărimea rezervorului; la rezervoarele mici, inelul poate fi alcătuit dintr-o cornieră, dintr-un profil U sau dintr-o grindă compusă, alcătuită prin sudare. La preluarea încărcărilor contribuie și tabla pereților. Dacă se dă inelului o formă convenabilă, este posibil ca efectul de răsucire, care apare din condițiile de rezemare și de solicitare, să fie redus foarte mult.

Capacul rezervorului este de obicei autoportant, conic sau sferic; numai la rezervoarele cu diametru mare tablele capacului sînt susținute de o șarpantă metalică.

c. Rezervoare cilindrice orizontale

Se utilizează la depozitarea combustibilului lichid, a uleiurilor, în instalații tehnologice din diferite industrii etc. Se așază imediat deasupra solului, susținute pe suporți simpli sau sînt îngropate direct în pămînt; sînt larg folosite la depozite de carburanți, în agricultură și oriunde sînt necesare depozite mai mici și răspîndite.

Rezervoarele cilindrice orizontale nu depășesc în general capacitatea de 200 m³, astfel că este posibil să fie executate complet în fabrici. Un rezervor cu capacitatea de 70 m³ are diametrul de 3 200 mm, lungimea de 9 000 mm cîntărind în total circa 4 000 kg. Pentru rezervoare de capacitate mai mare se păstrează diametrul, care este impus de posibilitatea de transport pe calea ferată și se mărește lungimea.

Consumul de material pe unitatea de capacitate este cu atît mai mic cu cît rezervorul este mai mare.

Rezervoarele cilindrice orizontale se compun dintr-un perete cilindric, din două funduri și din mai multe inele de rigidizare; la partea superioară este prevăzută o gură de vizitare de 700—750 mm diametru, cu capac.

Corpul rezervorului se alcătuiește dintr-o singură virolă, tablele fiind așezate în lung și sudate pe marginile laterale în adîncime sau din mai multe virole formate prin îndoirea unei table. Virolele se sudează unele de altele în adîncime și uneori prin suprapunere.

Fundurile se execută plane, din calote sferice sau de formă elipsoidală, conică sau cilindrică, soluția fiind influențată și de condițiile în care se face exploatarea (fig. XXIV.10). Fundurile sferice și elipsoidale sînt avantajoase la presiuni mari; aceste funduri se execută la prese și de aceea costul lor este mare. Raza fundurilor executate în formă de calotă sferică se ia egală cu diametrul părții cilindrice; calota sferică se leagă de cilindru printr-o racordare cu raza de aproximativ $D/10$. Fundurile conice și cele plane sînt mai ușor de executat, fiind mai simple. Fundurile plane se pot executa fără rigidizări, lăsîndu-se să lucreze ca o membrană plană circulară, rezemată pe contur; cînd diametrul este mai mare sau cînd presiunea depășește 0,1 daN/cm²

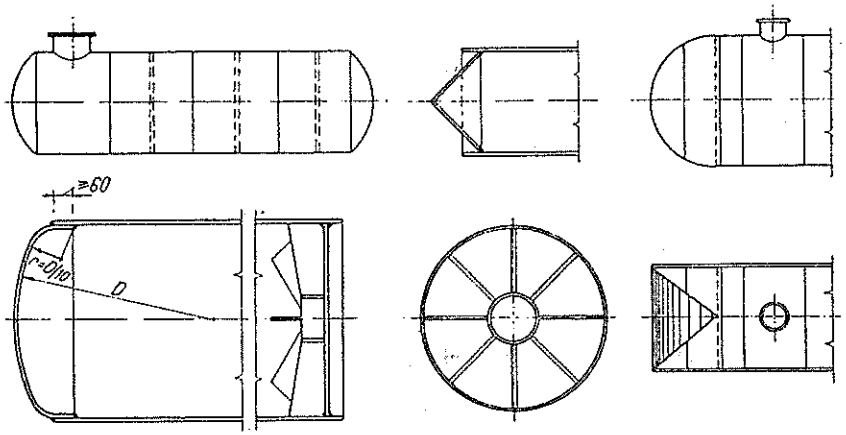


Fig. XXIV.10. Rezervoare cilindrice orizontale.

este necesar să se prevadă rigidizări radiale. Fundurile cilindrice se execută ușor, prin vălțuire, și se comportă bine chiar și la presiuni mai ridicate.

Inele de rigidizare se prevăd la fiecare virolă sau la circa 1,50 m interval, cînd raportul dintre diametrul rezervorului și grosimea tablei peretelui este mai mare decît 350. La rezervoarele îngropate se prevăd inele de rigidizare oricare ar fi raportul D/t. Inelele de rigidizare sînt formate dintr-o cornieră sudată de tabla peretelui la muchia unei aripi ; prin această așezare se mărește mult rigiditatea inelului (fig. XXIV.11). În partea de jos a inelului se ame-

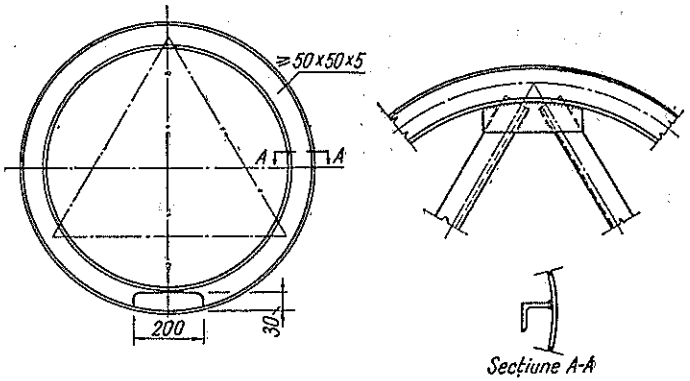


Fig. XXIV.11. Inele de rigidizare.

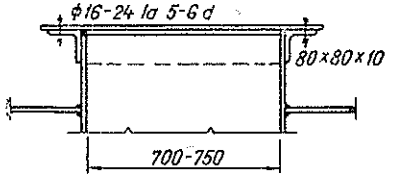


Fig. XXIV.12. Gură de vizitare.

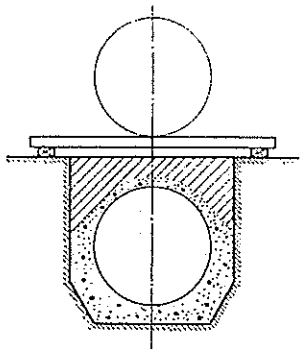


Fig. XXIV.13. Așezarea rezervoarelor îngropate.

najează o fereastră pentru a se ușura scurgerea lichidelor și curățirea rezervorului. La rezervoarele care sînt așezate pe reazeme transversale, rigidizările din dreptul reazemelor (unde ele nu pot lipsi), sînt întărite cu legături triunghiulare, alcătuite din corniere egale cu acelea ale rigidizărilor rotunde. Coeficientul de zvelțețe al acestor bare de legătură nu va depăși 200.

Gura de vizitare este formată dintr-un tub cilindric sudat la partea superioară de corpul rezervorului ; marginea superioară este întărită cu o cornieră care servește și la prinderea capacului cu șuruburi (fig. XXIV.12). Între capac și rama tubului se așază o garnitură.

Așezarea rezervoarelor îngropate se poate face direct în pămînt, fără suporți de susținere. Înainte de a fi îngropat, rezervorul este înfășurat cu două—trei straturi de pînză, alternînd cu straturi de bitum. Rezervorul astfel protejat este așezat pe un strat de nisip, bine îndesat, de 150—200 mm grosime ; în jurul rezervorului lateral și deasupra se așază un strat de nisip de 100—150 mm grosime (fig. XXIV.13). Peste acest strat de nisip se așază umplutura de pămînt care se îndeasă bine.

d. Alte forme de rezervoare

Pentru diferite scopuri se folosesc și rezervoare cu alte forme decît cele examinate mai înainte.

Rezervoarele sferice, susținute pe stîlpi, suportă presiuni mari cu mai multă ușurință.

Asemenea rezervoare sînt utilizate astăzi pe scară largă în industria chimică, pentru înmagazinarea lichidelor și gazelor sub presiune mare (fig. XXIV.14), forma lor fiind rațională în asemenea situații. Rezemarea se face pe un inel susținut de stîlpi ; în cazul rezervoarelor cu presiuni interioare ridicate, grosimea peretelui rezultă mare și rezemarea rezervorului

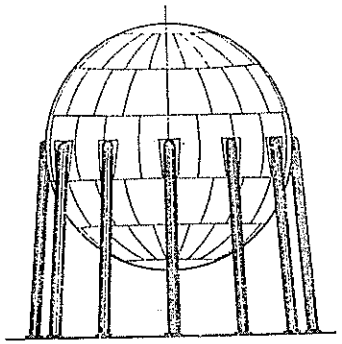


Fig. XXIV.14. Rezervor sferic.

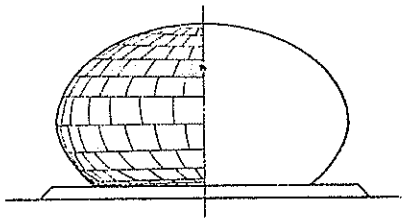


Fig. XXIV.15. Rezervor în formă de picătură.

se poate face direct pe stîlpi care au în capul lor o placă curbată, care se sudează de peretele sferic al rezervorului. Obișnuit se folosesc 8 sau mai mulți stîlpi, iar rezemarea se face pe linia diametrală sau cît mai aproape de aceasta. Este recomandabil ca rezemarea să se facă cu excentricități cît mai mici. Stîlpii sînt verticali sau ușor înclinați, urmărindu-se ca axele lor să formeze un cilindru sau un con tangent la sferă.

Montarea rezervorului se face prin îmbinarea tablei, curbată după o suprafață sferică, prin presare. Forma bucăților de tablă rezultă din tăierea suprafeței sferei prin cercuri paralele și meridiane, iar mărimea lor este determinată de capacitatea presei. Îmbinarea bucăților de tablă se face prin sudură în adîncime.

O altă formă de rezervoare este cea numită în formă de picătură (rezervoare de egală rezistență); acestea se fac pentru capacități mari. Forma de egală rezistență (fig. XXIV.15) corespunde unei anumite situații de încărcare, de exemplu rezervorul complet plin și o anumită suprapresiune interioară; pentru alte încărcări apar în perete solicitări de încovoiere. De aceea este necesar ca în interior să se prevadă unele rigidizări.

3. Elemente pentru calculul rezervoarelor

a. Acțiuni

În diferite situații rezervoarele sînt supuse la acțiunea următoarelor încărcări:

— presiunea hidrostatică, dată de lichidele sau de gazele pe care le conțin;

— un surplus de presiune care se produce la umplerea rezervoarelor și la evaporarea lichidelor volatile, cînd acestea se încălzesc prin ridicarea temperaturii. Rezervoarele au supape de siguranță, care se deschid la presiunea maximă admisă în rezervor; la rezervoarele verticale cu fund plan nu se admite o presiune suplimentară mai mare decît 200 daN/m²;

— depresiunea creată la rezervoarele care conțin lichide ușor volatile, prin condensarea vaporilor la scăderea temperaturii sau la scurgerea lichidelor din rezervor; la rezervoarele cilindrice verticale cu fund plan se admite o depresiune de maximum 25 daN/m²;

— greutatea proprie a construcției;

— greutatea izolației termice, în cazul în care există; se prevede uneori o asemenea izolație la acoperișurile rezervoarelor mari;

— încărcarea cu zăpadă, care pentru rezervoarele în aer liber se ia după regiune;

— încărcarea utilă pentru acoperișurile rezervoarelor, care se ia egală cu 30 daN/m²;

— încărcarea dată de umplutura de pămînt, la rezervoarele îngropate;

— efectele variației de temperatură.

b. Relații de calcul în ipoteza de membrană

Rezervoarele sînt alcătuite din elemente subțiri, dispuse după o suprafață de revoluție, obținută prin rotirea unei curbe plane în jurul unei axe, situată în planul curbei.

Un punct oarecare a de pe suprafață este determinat de intersecția unui meridian, a cărui rază de curbură aA în punctul considerat este notată cu r_2, cu cercul paralel care trece prin punctul considerat. A doua rază de curbură notată cu r_1, măsurată tot după normala la suprafață este aC; valoarea ei se deduce ușor din relația $r_0 = r_1 \sin \theta_2$, r_0 fiind raza cercului paralel (fig. XXIV.16).

Separînd un element $abcd$ cu laturile ds_1 și ds_2 (cuprins între două meridiane și două paralele), asupra căruia acționează presiunea normală $p_n ds_1 ds_2$, pe laturile lui se dezvoltă eforturi unitare σ și τ, din care interesează eforturile unitare σ. Proiectînd pe normala la suprafață și neglijînd termenii de ordinul doi (eforturile unitare τ dau proiecții nule) se obține

$$2t ds_1 \sigma_2 \sin \frac{d\theta_2}{2} + 2t ds_2 \sigma_1 \sin \frac{d\theta_1}{2} = p_n ds_1 ds_2. \qquad \text{(XXIV.1)}$$

Unghiul θ fiind mic, $\sin \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}$; pe de altă parte,

$$\theta_1 = \frac{ds_1}{r_1} \quad \text{și} \quad \theta_2 = \frac{ds_2}{r_2}.$$

Înlocuind se obține

$$\frac{t\sigma_2}{r_2}\,ds_1 ds_2 + \frac{t\sigma_1}{r_1}\,ds_1 ds_2 \quad \text{sau}$$

$$\frac{\sigma_1}{r_1} + \frac{\sigma_2}{r_2} = \frac{p_n}{t}, \qquad \text{(XXIV.2)}$$

care reprezintă o relație generală pentru rezervoarele cu dublă curbură.

Pentru a determina eforturile unitare σ_1 și σ_2 este necesară încă o relație. În cazul rezervoarelor, încărcările fiind simetrice, efortul unitar σ_2 se poate deduce ușor făcînd o secțiune printr-un plan paralel și scriind o ecuație de echilibru. Rezultă,

$$2\pi r_0 t\sigma_2 \sin\theta_2 = G \quad \text{sau}$$

$$\sigma_2 = \frac{G}{2\pi r_0 t \sin\theta_2} \qquad \text{(XXIV.3)}$$

în care G este greutatea volumului de lichid aflat deasupra și dedesubtul secțiunii $m-m$ și limitat la conturul acestei secțiuni, plus greutatea construcției de sub secțiune

Aceste relații sînt valabile pentru calculul rezervoarelor din tablă subțire, cu excepția unor zone, reduse ca întindere, situate la legăturile dintre pereți și funduri sau capac, precum și acolo unde se introduc rigidizări, care împiedică deformarea liberă a pereților.

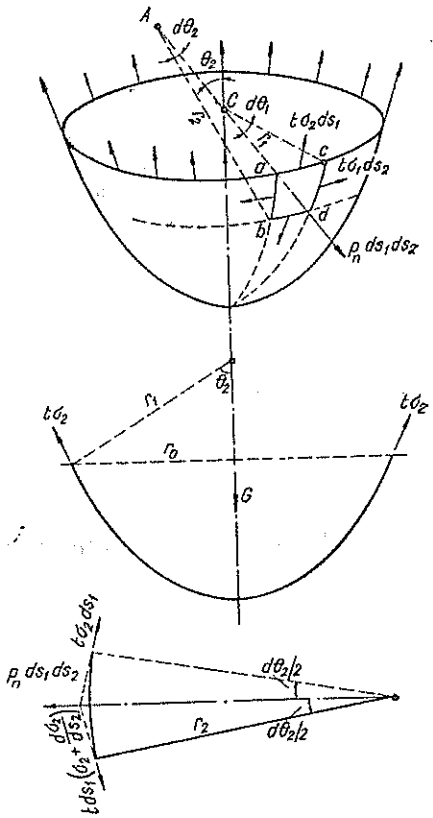


Fig. XXIV.16. Eforturi în membrană.

c. Influența legăturilor

Elementele unui rezervor metalic, de exemplu pereții cilindrici sub acțiunea presiunilor laterale se deformează, cercurile paralele lungindu-se; în apropierea fundului plan, deformațiile corespunzătoare stării de membrană sînt împiedicate de fund. Dacă peretele n-ar fi legat de fund, s-ar deplasa liber de sus pînă jos. Introducînd o forță T și un moment M, uniform distribuite pe marginea de jos a peretelui, marginea poate fi adusă în poziția impusă

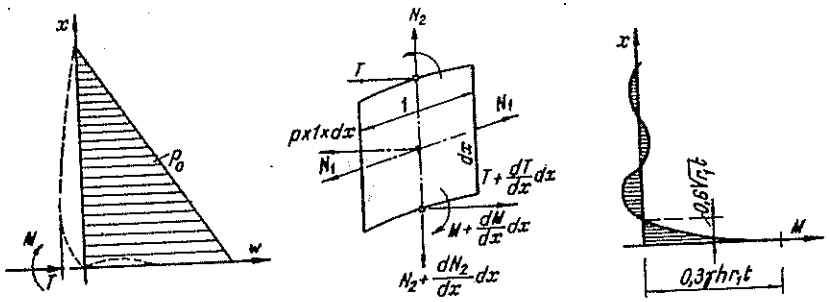


Fig. XXIV.17. Efectul de margine la rezervoare.

de legătura ei cu fundul (fig. XXIV.17). Eforturile care se dezvoltă în acest caz pot fi determinate. Interesează în special momentul M.

Un element dintr-o fîșie verticală cu lățimea l și lungimea dx va fi supus pe contur la eforturile din fig. XXIV.17. Din ecuația de proiecție pe normală rezultă

$$N_1/r_1 + dT/dx = p. \qquad \text{(XXIV.4)}$$

Alungirea specifică a unui cerc, deplasarea pe rază fiind w, este

$$\frac{w}{r_1} = \frac{N_1}{Et} \quad \text{astfel că} \quad N_1 = \frac{Etw}{r_1}. \qquad \text{(XXIV.5)}$$

Al doilea termen dT/dx se obține din relația dintre momente și deplasări

$$M = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \cdot \frac{d^2w}{dx^2}; \qquad \text{(XXIV.6)}$$

notînd $D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}$ și derivînd rezultă

$$\frac{dT}{dx} = \frac{d^2M}{dx^2} = D\,\frac{d^4w}{dx^4}. \qquad \text{(XXIV.7)}$$

Înlocuind în relația (XXIV.4) pe N_1 și dT/ds, se ajunge la ecuația diferențială neomogenă

$$\frac{d^4w}{dx^4} + \frac{Et}{Dr_1^2}\,w = \frac{p}{D}. \qquad \text{(XXIV.8)}$$

Soluția ecuației diferențiale neomogene (XXIV.8) se obține adăugînd la soluția ecuației omogene $\frac{d^4w}{dx^4} + \frac{Et}{Dr_1^2} w = 0$, o soluție particulară a ecuației neomogene.

Introducînd notația

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Et}{4Dr_1^2}} = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{r_1^2t^2}} \qquad \text{(XXIV.9)}$$

ecuația omogenă se poate scrie

$$\frac{d^4w}{dx^4} + 4\beta^4 w = 0. \qquad \text{(XXIV.10)}$$

Soluția acestei ecuații este

$$w = e^{+\beta x}(A_1 \cos \beta x + A_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x}(B_1 \cos \beta x + B_2 \sin \beta x). \qquad \text{(XXIV.11)}$$

Deformațiile sînt nule la distanțe mari de origine; această condiție nu poate fi îndeplinită decît dacă $A_1 = A_2 = 0$.

Soluția particulară a ecuației neomogene coincide cu soluția de membrană și este

$$w_0 = \frac{r_1}{Et} N_1 = \frac{r_1^2}{Et} \gamma(h - x),$$

în care N_1 s-a determinat la distanța x de origine, considerată la fund

$$N_1 = r_1 p \quad \text{și} \quad p = \gamma(h - x).$$

Soluția completă este deci

$$w = \frac{r_1^2}{Et} \gamma(h - x) + e^{-\beta x}(B_1 \cos \beta x + B_2 \sin \beta x). \qquad \text{(XXIV.12)}$$

Derivatele acestei funcții sînt

$$\frac{dw}{dx} = -\frac{\gamma r_1^2}{Et} - \beta e^{-\beta x}[(B_1 - B_2) \cos \beta x + (B_1 + B_2) \sin \beta x] \qquad \text{(XXIV.13)}$$

$$\frac{d^2w}{dx^2} = 2\beta^2 e^{-\beta x}(B_1 \sin \beta x - B_2 \cos \beta x). \qquad \text{(XXIV.14)}$$

Cu ajutorul acestor expresii se pot obține valorile eforturilor N_1 și M, în funcție de x și de constantele B_1 și B_2.

În cazul ipotezei în care pereții sînt încastrați la legătura cu fundul, pentru $x = 0$, se pot pune condițiile $w = 0$ și $dw/dx = 0$, din care se determină constantele B_1 și B_2. În acest caz, valorile constantelor B_1 și B_2 sînt

$$B_1 = -\frac{\gamma r_1^2 h}{Et} \quad \text{și} \quad B_2 = -\frac{\gamma r_1^2 h}{Et}\left(1 - \frac{1}{\beta h}\right).$$

Expresia momentului se pune sub forma

$$M_x = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \frac{d^2w}{dx^2} = \frac{\gamma h r_1^2 t^2}{2 \cdot 3(1-\mu^2)} \beta^2 e^{-\beta x}\left[\left(1 - \frac{1}{\beta h}\right) \cos \beta x - \sin \beta x\right] =$$

$$= \frac{\gamma h}{2\beta^2} e^{-\beta x}\left[\left(1 - \frac{1}{\beta h}\right)(\cos \beta x - \sin \beta x)\right]. \qquad \text{(XXIV.15)}$$

Momentul în placa pereților, la punctul de legătură cu fundul, rezultă

$$M = \left(1 - \frac{1}{\beta h}\right)\frac{\gamma h}{2\beta^2} = \left(1 - \frac{1}{\beta h}\right)\frac{\gamma h r_1 t}{2\sqrt{3(1-\mu^2)}} \text{ [daJ/cm]}. \qquad \text{(XXIV.16)}$$

În cazul rezervoarelor metalice termenul $1 - \frac{1}{\beta h}$ este aproximativ egal cu 1; luînd $\mu = 0{,}3$ rezultă

$$M = \frac{\gamma h r_1 t}{3{,}3} = 0{,}3 \gamma h r_1 t \quad \text{și} \quad \sigma = \frac{6M}{t^2} = 1{,}80 \frac{\gamma h r_1}{t}, \qquad \text{(XXIV.17)}$$

relație suficient de exactă pentru calculul rezervoarelor metalice la care peretele se poate considera încastrat la legătura cu fundul.

Trebuie observat că în cazul rezervoarelor cu fundul plat, grosimea tablei fundului fiind mică, nu se realizează o încastrare perfectă și condiția $dw/dx = 0$ nu este satisfăcută. S-ar putea stabili relații care să țină seama de această situație. Rotirea care intervine, datorită rigidității reduse a fundului, micșorează valoarea momentului M; pe de altă parte, dacă se admite în cazul unei încastrări apariția unor deformații plastice pe o zonă redusă la legătura peretelui cu fundul, se poate corecta relația care dă valoarea efortului. Din aceste motive, pentru calculul rezervoarelor cu fundul plat, se poate lua $\sigma = 1{,}2\gamma h r_1/t$.

Valoarea momentului se anulează la o distanță mică, dată de

$$\beta x = \frac{\pi}{4} \quad \text{sau} \quad x = \frac{\pi\sqrt{r_1 t}}{4\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}} = 0{,}6\sqrt{r_1 t}. \qquad \text{(XXIV.18)}$$

În alte situații, cum ar fi la rezervoare cu fundul dintr-o calotă sferică, neracordată la prinderea cu pereții și la prinderea fundurilor cilindrice de peretele rezervorului, valorile momentelor pot fi de 2—2,5 ori mai mari decît cele date de relația (XXIV.17), datorită trecerii făcute bruse și acțiunii de perturbare dată de funduri. Efectele de margine se reduc însă foarte mult, dacă între fundul cu dublă curbură și peretele cilindric se face o racordare cu raza mai mică decît a fundului $\left(\frac{1}{7}\right.$ la $\left.\frac{1}{10}\right.$ din raza de curbură a fundului$\left.\right)$.

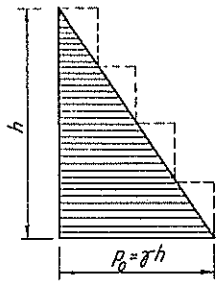


Fig. XXIV.18. Presiuni în pereții cilindrici.

4. Calculul rezervoarelor

a. Pereții cilindrici verticali

Se consideră rezervorul plin pînă la partea superioară a mantalei (fig. XXIV.18). Raza $r_2 = \infty$, astfel că relația generală devine

$$\frac{\sigma_1}{r_1} = \frac{\gamma h}{t} \qquad \text{(XXIV.19)}$$

de unde $\sigma_1 = \gamma h r_1/t$. Scoțînd pe t în evidență rezultă $t = \gamma h r_1/\sigma_1$ la care se dă în general, un spor de 1 mm pentru coroziune.

În cazul în care rezervorul are o capacitate mai mare, se modifică t la trecerea de la o virolă la alta, făcîndu-se calculul cu înălțimea h, corespunzătoare părții de jos a fiecărei virole. Dacă se ține seama că presiunea scade repede pe înălțimea unei virole și că regiunile mai puțin încărcate pot lua un supliment de încărcare, se poate lua h corespunzător unui punct aflat ceva mai sus decît marginea inferioară a virolei și anume la 1/5 din înălțimea virolei. La legătura peretelui cu fundul se face verificarea și la efectul margine. Deoarece în cazul oțelului nu constituie un pericol atingerea limitei de curgere, într-o zonă redusă, la verificarea efectului de margine se pot admite eforturi unitare sporite cu 50%, dacă se face calculul prin metoda rezistențelor admisibile, și cu 30%, dacă se folosește metoda stărilor limită.

b. Fundurile rezervoarelor

Fundurile pline ale rezervoarelor cilindrice verticale, care sînt așezate pe pămînt, nu se calculează. Se face numai verificarea la efectul de margine. Sudurile în relief continue, care prind mantaua de fund, se consideră ca două dreptunghiuri de înălțime egală cu dimensiunea sudurilor a, separate prin spațiul l. La verificarea prinderii, modulul de rezistență al sudurilor se determină pentru această situație.

La rezervoarele cu *fund conic*, partea cilindrică se calculează cu relația (XXIV.19); pentru partea conică se observă că

$$r_2 = \infty \text{ și } r_1 = y\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\alpha};\quad p_n = \gamma(h-y).$$

Din relația generală rezultă

$$\frac{\sigma_1}{r_1} = \frac{(h-y)\gamma}{t} \text{ sau } \sigma_1 = \frac{(h-y)\gamma}{t} y\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\alpha}. \qquad \text{(XXIV.20)}$$

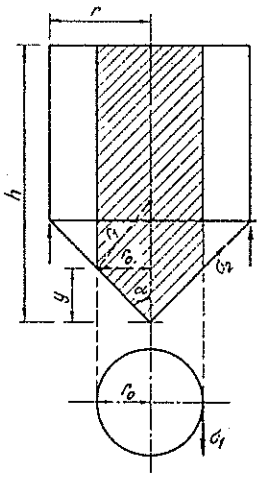


Fig. XXIV.19. Eforturi în fundul conic.

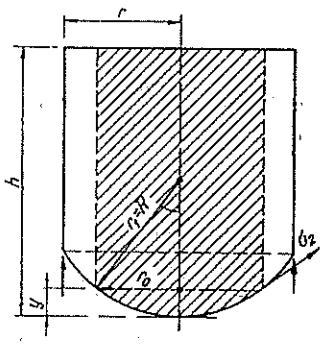


Fig. XXIV.20. Eforturi în fundul sferic.

Efortul unitar după generatoare este dat de relația stabilită mai înainte

$$\sigma_2 = \frac{G}{2\pi r_0 t \sin\theta_2},\ \text{în care } \theta_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha,\ \text{iar } r_0 = y\ \operatorname{tg}\alpha.$$

Greutatea G, care se ia în această formulă, este

$$G = \pi r_0^2 \frac{3h-2y}{3}\gamma = \pi y^2 \frac{3h-2y}{3}\gamma \operatorname{tg}^2\alpha.$$

Înlocuind se obține

$$\sigma_2 = \frac{y(3h-2y)\gamma\ \operatorname{tg}\alpha}{6t\cos\alpha}. \qquad \text{(XXIV.21)}$$

În cazul *fundurilor sferice* (fig. XXIV. 20) $r_1 = r_2 = R$ și deci rezultă $\frac{\sigma_1+\sigma_2}{R} = \frac{p}{t}$, în care R este raza de curbură a sferei și

$$p = (h-y)\gamma.$$

Efortul unitar σ_2 este

$$\sigma_2 = \frac{G}{2\pi r_0 t \sin\alpha},$$

în care

$$r_0 = R\sin\alpha \text{ și } G = \pi\gamma\left[R^2(h-y)\sin^2\alpha + \frac{3R-y}{3}y^2\right].$$

Rezultă

$$\sigma_2 = \gamma\left[\frac{R(h-y)}{2t} + \frac{(3R-y)y^2}{6Rt\sin^2\alpha}\right]. \qquad \text{(XXIV.22)}$$

Înlocuind $\cos\alpha = \frac{R-y}{R}$ și $\sin^2\alpha = \frac{(2R-y)y}{R^2}$ rezultă

$$\sigma_2 = \frac{\gamma R}{2t}\left(h - \frac{y}{3}\cdot\frac{3R-2y}{2R-y}\right). \qquad \text{(XXIV.23)}$$

Din relația generală se scoate

$$\sigma_1 = \frac{\gamma(h-y)R}{t} - \sigma_2; \text{ deci: } \sigma_1 = \frac{\gamma R}{2t}\left[h - \frac{y}{3}\cdot\frac{9R-4y}{2R-y}\right]. \qquad \text{(XXIV.24)}$$

Eforturile unitare pentru $y = 0$ sînt

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{\gamma hR}{2t}.$$

La rezervoarele cu *funduri conice-sferice* dimensiunile rezervorului se aleg astfel încît împingerile orizontale date de partea conică și de partea sferică să fie egale, pentru ca inelul de bază să fie solicitat numai de încărcări verticale (fig. XXIV.21).
Pentru aceasta este necesar ca

$$N_1\sin\alpha_1 = N_2\sin\alpha_2 \qquad \text{(XXIV.25)}$$

în care

$$N_1 = \frac{G}{2\pi r_0\cos\alpha_1} \text{ și } N_2 = \frac{G}{2\pi r_0\cos\alpha_2}.$$

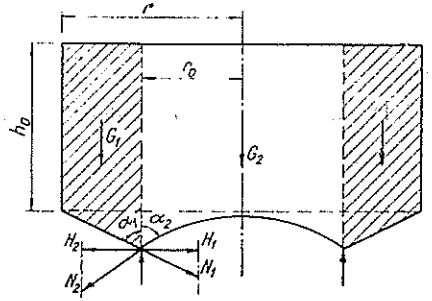


Fig. XXIV.21. Rezervor cu fund conic și sferic.

G_1 și G_2 fiind greutățile de lichid corespunzătoare volumului părții cu fund cilindric și a aceleia cu fund sferic. Cînd înclinările sînt egale rezultă condiția: $G_1 = G_2$.

Greutățile G_1 și G_2 se pot determina exact; cu o oarecare aproximație se poate scrie

$$\pi r_0^2 h_0\gamma = \pi(r^2 - r_0^2)h_0\gamma,$$

de unde rezultă

$$2r_0^2 = r^2 \text{ și } r_0 \approx 0{,}7r.$$

La astfel de rezervoare partea sferică este supusă la eforturi de compresiune; cînd dimensiunile rezervorului sînt mari există pericolul pierderii stabilității. Rezistența critică de flambaj stabilită teoretic și corectată pentru a ține seama de imperfecțiunile de formă, se poate determina cu relația:

$$\sigma_{cr} = k\frac{Et}{r} \qquad \text{(XXIV.26)}$$

în care t este grosimea tablei, r raza calotei sferice și k un coeficient a cărui valoare este între 0,12 și 0,18.

c. Capacele rezervoarelor

Capacele rezervoarelor care au forma unor plăci cu simplă sau cu dublă curbură, autoportante, se calculează după aceleași reguli. Capacele alcătuite din tablă care reazemă pe căpriori, susținuți de șarpante, se calculează ca plăci plane fixate de căpriori, de care se sudează; se ține deci seama de reducerea momentului încovoietor datorită efortului de întindere axial. Capacele rezervoarelor trebuie să fie verificate și la efectul de sucțiune interioară, provocată de subpresiuni.

d. Rezervoare cilindrice orizontale

În pereții acestor rezervoare, pe lîngă efortul unitar σ_1, rezultat din efectul de membrană, și care este $\sigma_1 = pr_1/t$, se mai dezvoltă efortul unitar σ după generatoare, efort care rezultă din presiunea pe funduri. Considerînd presiunea uniformă sau media presiunilor, σ rezultă din relația:

$\pi r_1^2 p = 2\pi r_1 t\sigma$, de unde

$$\sigma = pr_1/2t.$$

Pereții rezervoarelor cilindrice sînt supuși în realitate la presiuni care variază pe înălțime. Dacă se ține seama că la umplere conducta poate rămîne plină, se creează o suprapresiune, mai ales la rezervoarele îngropate. Rezervoarele îngropate sînt supuse și încărcării date de pămînt (fig. XXIV.22). Există din

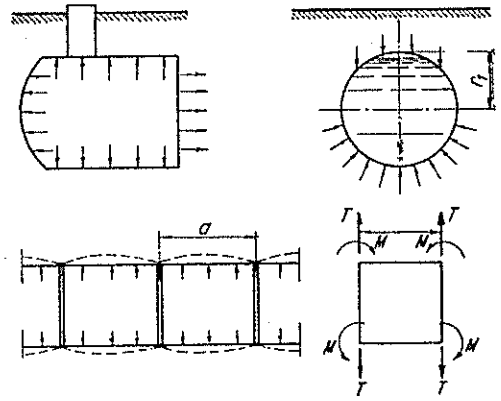


Fig. XXIV.22. Eforturi în rezervoare cilindrice orizontale.

aceste motive o tendință de ovalizare a secțiunii, împiedicată de inelele de rigidizare.

La rezervoarele cilindrice orizontale cu inele de rigidizare, deformarea liberă a fîșiilor inelare este împiedicată de fîșiile longitudinale care sînt legate de inele. Se poate aplica un calcul care să țină seamă de efectele de margine sau se poate împărți peretele în fîșii după curba directoare și generatoare, încărcarea fîșiilor rezultînd din condiția de săgeată egală. Pentru dimensiunile uzuale ale acestor rezervoare, grosimea tablelor rezultă din condiția de rigiditate minimă, astfel că verificarea la eforturile de membrană și de margine, cu formule aproximative, este în general suficientă.

Inelele de rigidizare, mai ales la rezervoarele îngropate, trebuie verificate la efectul de ovalizare, care se face după aceleași reguli ca cele pentru calculul conductelor îngropate.

e. Inelele de susținere

Inelele de la baza rezervoarelor cilindrice verticale, așezate pe construcții de susținere, suportă încărcările date de ansamblul rezervorului. Acestea se transmit inelului, după felul cum este realizată legătura dintre rezervor și inel. În general, va rezulta o componentă orizontală H și una verticală V, uniform distribuite pe inel. Componentele orizontale și verticale pot fi deduse din eforturile unitare σ_2 care se dezvoltă în tabla fundului la nivelul legăturii cu inelul, adăugînd la componenta verticală și greutatea rezervorului (fig. XXIV.23). Acestea pot fi stabilite ușor și direct, dacă se ține seama că

$$V = N\cos\alpha;\quad H = \frac{V}{\cos\alpha}\sin\alpha = V\operatorname{tg}\alpha \quad \text{și} \quad 2\pi r V = G, \qquad \text{(XXIV.27)}$$

de unde rezultă $V = \frac{G}{2\pi r}$ și $H = \frac{G}{2\pi r}\operatorname{tg}\alpha$, în care G este greutatea totală a rezervorului, inclusiv conținutul. Forța H dă în inel un efort de compresiune axială

$$N_i = Hr. \qquad \text{(XXIV.28)}$$

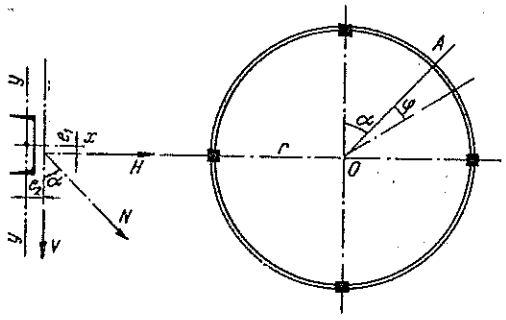


Fig. XXIV.23. Solicitările inelului.

Din modul de aplicare a forțelor V și H pot rezulta efecte de răsucire ale căror valori pe metru de lungime sînt Ve_2 și He_1.

Sarcina verticală V dă efectele obișnuite la o grindă curbă, așezată pe mai multe

reazeme. Un inel închis rezemat pe n reazeme și acționat de forțe normale pe planul lui este static nedeterminat. Se știe însă că momentele de răsucire sînt maxime, acolo unde se anulează momentele încovoietoare. Momentele de răsucire sînt egale cu zero pe reazeme și la mijlocul deschiderilor. În acest caz se poate face determinarea eforturilor pe baza ecuațiilor de echilibru static (fig. XXIV.24). Însemnînd că $2\alpha = \frac{2\pi}{n}$ unghiul la centru al unei deschideri și luînd ca origine a unghiurilor φ (care determină poziția unui punct oarecare), dreapta OA care trece prin mijlocul unei deschideri, se obține

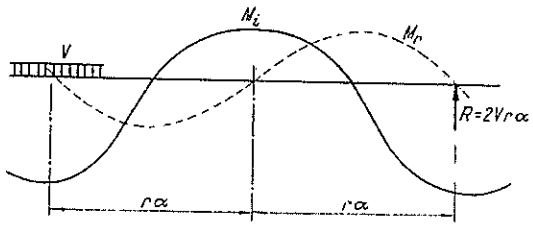


Fig. XXIV.24. Variația momentelor M_r și M_i.

$$M_i = Vr^2\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}\cos\varphi - 1\right) \qquad \text{(XXIV.29)}$$

și

$$M_r = -Vr^2\left(\varphi - \frac{\alpha}{\sin\alpha}\sin\varphi\right). \qquad \text{(XXIV.30)}$$

Reacțiunea pe un reazem este $R = 2Vr\alpha$.

Este de dorit ca prin măsuri constructive efectele de răsucire să fie reduse cît mai mult. Este de reținut faptul că efectele de răsucire nu se pot dezvolta liber din cauza legăturii inelului cu mantaua și pîlnia rezervorului.

La rezervoare mari, cu distanțe mari între punctele de susținere, efectele de răsucire pot produce perturbări în stările de eforturi din pereți și pîlnii. Cu unele rigidizări așezate pe pereți, efectele se distribuie mai avantajos.

XXV. Conducte

1. Alcătuire

a. Generalități

Gazele rezultate de la cocserii și furnale sînt folosite după epurare la diferite instalații din întreprinderile siderurgice respective. Pentru transport de la locul unde se produc la stațiile de epurare, la gazometre și de aici la consumatori, se folosesc conducte, montate deasupra solului. În general,

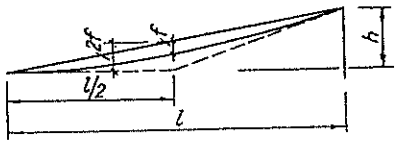


Fig. XXV.1. Panta minimă.

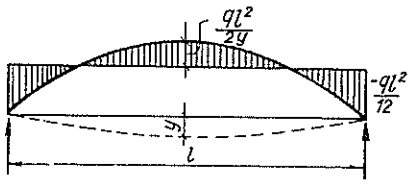


Fig. XXV.2. Săgeata conductei.

diametrul conductelor este mare, putînd ajunge la 3 000 mm și chiar mai mult. Diametrul conductelor rezultă din necesitatea de a se asigura, sub o presiune dată, debitul cerut de consumatori pe care îi alimentează.

Traseul conductelor rezultă din cerințele exploatării; urmărindu-se să se obțină trasee cît mai scurte, conductele traversează căi ferate, drumuri și chiar unele instalații joase. Distanțele între punctele de susținere pot rezulta astfel încît conducta să le poată trece ca un element autoportant sau pot fi prea mari și conducta trebuie susținută într-un mod oarecare. Traseul în plan prezintă schimbări de direcții, devieri; în plan vertical, de asemenea poate avea modificări de pante sau coturi.

Traseul unei conducte este împărțit în tronsoane, limitate prin compensatori de dilatare; lungimea tronsoanelor poate ajunge pînă la circa 100 m. Între doi compensatori de dilatare, conducta are un reazem fix, situat spre mijlocul lungimii tronsonului; celelalte reazeme sînt mobile.

Schimbările de direcție se fac prin coturi cu raze mari sau prin intermediul unui rezervor, așezat pe o susținere spațială. La ramificații sînt prevăzute vane de închidere; aici sînt realizate platforme. Din distanță în distanță sînt prevăzute supape de siguranță, care se deschid cînd presiunea crește peste cea normală.

În interiorul conductelor se produc unele condensări; pentru asigurarea scurgerii apei rezultate se asigură o pantă minimă, în scopul evitării formării unor pungi de apă (fig. XXV.1).

Panta minimă rezultă din relația

$$i = \frac{h}{l} = \frac{2 \cdot 2f}{l} = \frac{4f}{l}. \qquad \text{(XXV.1)}$$

Săgeata f se calculează considerînd conducta încastrată la punctele de rezemare; conform fig. XXV.2, rezultă

$$f = \frac{5}{384} - \frac{ql^4}{EI} - \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{l^2}{8EI} = \frac{ql^4}{384\,EI}. \qquad \text{(XXV.2)}$$

b. Elemente constructive

Conductele pentru gaze se execută sudate; este preferată sudura automată. La șantier conductele se aduc în bucăți; acestea pot fi realizate din table obișnuite, prin sudare cap la cap sau, la conductele cu diametru pînă la 1,0 m, din table cu lățimi mici și lungimi mari, prin înfășurare după o spirală, sudarea făcîndu-se automat. Îmbinările la șantier se fac prin sudură în adîncime sau cu flanșe bulonate (fig. XXV.3); flanșele se etanșează cu garnituri de cauciuc, azbest, carton impregnat etc. sau cu garnituri metalice (Cu, Pb).

Compensatorii de dilatare, la conductele cu diametru mic, pot fi alcătuiți din lire (fig. XXV.4) sau cu diafragme, la conductele cu diametru mare (fig. XXV.5).

Pentru schimare de direcție se fac coturi; în fig. XXV.6 este arătat un cot vertical, La reazemul fix conducta este așezată pe un suport curb, realizat dintr-o tablă curbată, cu raza egală cu aceea a conductei; de obicei conducta este fixată de reazem printr-o chingă din oțel lat (fig. XXV.7). Reazemele mobile pot fi realizate la fel, dacă stîlpii sînt suficient de înalți și pendulari, sau se fac cu rulouri.

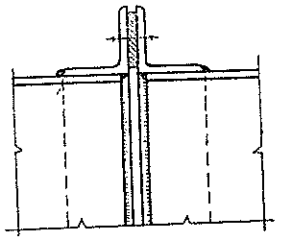


Fig. XXV.3. Îmbinare cu flanșe.

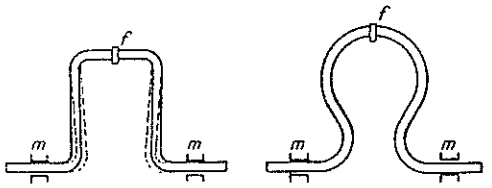


Fig. XXV.4. Compensatori în formă de liră.

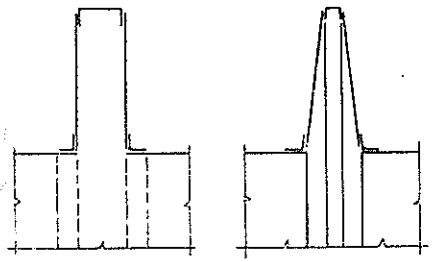


Fig. XXV.5. Compensatori cu diafragme.

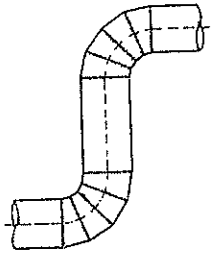


Fig. XXV.6. Cot.

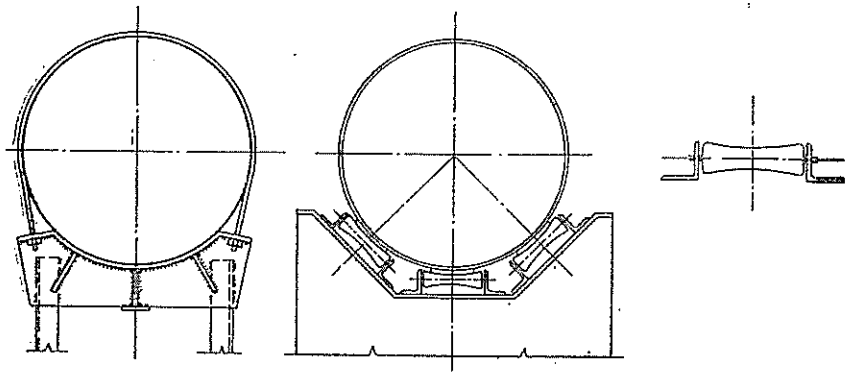


Fig. XXV.7. Reazeme.

Conductele sînt confecționate din tablă cu grosimea de la 6 la 12 mm, după mărimea diametrului și a deschiderii. Pe reazeme se prevăd rigidizări inelare; la conductele cu diametrul peste 2 000 mm se pun astfel de rigidizări și pe deschidere, intervalul între ele fiind de 3,50—4,00 m (interval mai mic la diametre mai mari). Rigidizările se decalează cu 100 la 200 mm de sudurile transversale; la intersecția cu sudurile longitudinale se fac tăieturi în rigidizare, evitîndu-se întîlnirea cordoanelor de sudură.

2. Calculul conductelor

a. Elemente de calcul

Pentru dimensionarea conductelor intervin următoarele încărcări:

— greutatea permanentă, formată din greutatea conductei, a vanelor, a izolării, cînd există, din greutatea pasarelelor, platformelor, scărilor etc.;

— presiunea gazului, obișnuit pînă la 3 000 mm H_2O și presiunea suplimentară care apare la închiderea ventilului;

— încărcarea cu apă rezultată din condens, care se consideră că poate umple un procent din secțiunea conductei (30% la diametre >1 500 mm și 33—90% la cele mai mici);

— frecarea conductei pe reazeme;

— încărcarea cu praf așezat pe conducte, pasarele și platforme, care, pînă la o distanță de 100 m de furnal se ia 100 daN/m²; se admite că praful are 2 t/m³ și se menține la un taluz natural de 35°;

— variația de temperatură, cînd deplasările conductei pe reazeme sînt împiedicate;

— încărcări pe platforme, de la 150 la 200 daN/cm²;

— vînt;

— zăpadă;

Se fac verificări în ipoteza tasării unor reazeme, a ruperii unui element, la cutremur, dacă regiunea are un grad de seismicitate peste 7 inclusiv.

Încărcările date de vînt și zăpadă se consideră accidentale; cutremurul constituie o încărcare extraordinară.

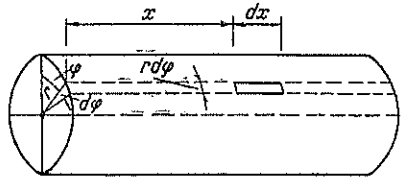


Fig. XXV.8. Elemente de calcul.

Pentru calculul conductelor cu diametru mare se aplică teoria de membrană. O conductă metalică fiind un tub cilindric cu pereți subțiri, așezat pe mai multe reazeme, un punct de pe suprafața mediană este precizat prin coordonatele x și φ; x se măsoară pe generatoare față de o origină aleasă, iar φ reprezintă unghiul normalei față de o normală fixată ca origină (fig. XXV.8).

Pe un element cu laturile dx și $rd\varphi$, vor acționa în general forțele arătate în fig. XXV.9. Din proiecțiile pe generatoare, tangenta la cercul director și pe normală rezultă

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} r dx d\varphi + \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial \varphi} dx d\varphi + X r dx d\varphi = 0 \qquad \text{(XXV.3)}$$

$$\frac{\partial N_\varphi}{\partial \varphi} dx d\varphi + \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial x} r dx d\varphi + Y r dx d\varphi = 0$$

$$N_\varphi dx d\varphi + Z r dx d\varphi = 0$$

sau

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{1}{r}\frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial \varphi} + X = 0$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial N_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial x} + Y = 0 \qquad \text{(XXV.4)}$$

$$N_\varphi + Zr = 0$$

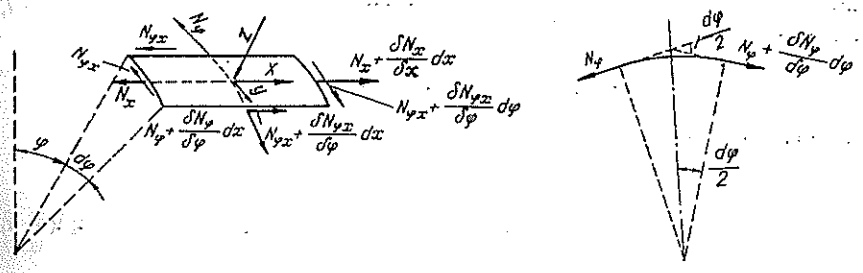


Fig. XXV.9. Forțele acționînd pe un element $rd\varphi dx$.

Prin integrare se obține

$$N_x = -\frac{1}{r}\int \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial \varphi}\,dx - \int X dx + C_1; \qquad (XXV.5)$$

$$N_{\varphi x} = -\frac{1}{r}\int \frac{\partial N_{\varphi}}{\partial \varphi}\,dx - \int Y dx + C_2.$$

Considerînd $X = 0$ și componentele Y și Z independente de x, derivînd ecuația a treia din relațiile (XXV.4) și înlocuind în ecuația a doua din (XXV. 5) rezultă

$$N_{\varphi x} = \int \frac{dZ}{d\varphi}\,dx - \int Y dx + C_2 = -\left(Y - \frac{dZ}{d\varphi}\right)x + C_2. \qquad (XXV.6)$$

Derivînd pe $N_{\varphi x}$ și înlocuind în expresia lui N_x se obține

$$N_x = \frac{x^2}{2r}\left(\frac{dY}{d\varphi} - \frac{d^2Z}{d\varphi^2}\right) - \frac{x}{r}\frac{dC_2}{d\varphi} + C_1. \qquad (XXV.7)$$

În final, sistemul de ecuații din care rezultă N_x, N_φ și $N_{\varphi x}$ este

$$N_\varphi = -Zr$$

$$N_x = \frac{x^2}{2r}\left(\frac{dY}{d\varphi} - \frac{d^2Z}{d\varphi^2}\right) - \frac{x}{r}\frac{dC_2}{d\varphi} + C_1 \qquad (XXV.8)$$

$$N_{\varphi x} = -\left(Y - \frac{dZ}{d\varphi}\right)x + C_2.$$

Constantele C_1 și C_2 sînt funcții de φ și se determină din condițiile de margine.

La o conductă simplu rezemată pe o deschidere supusă la greutatea proprie, deschiderea fiind $2l$, componentele X, Y și Z sînt

$$X = 0;\ Y = g \sin\varphi \text{ și } Z = g\cos\varphi.$$

În originea axelor, luată la mijlocul deschiderii, pentru $x = 0$, din cauza simetriei, $N_{\varphi x} = 0$, deci $C_2 = 0$. Pe reazeme $N_x = 0$, deci pentru $x = l$, N_x este

$$N_x = \frac{gl^2}{r}\cos\varphi + C_1 = 0 \text{ de unde } C_1 = -\frac{gl^2}{r}\cos\varphi.$$

În final rezultă

$$N_\varphi = gr\cos\varphi$$

$$N_x = -\frac{g}{r}(l^2 - x^2)\cos\varphi \qquad (XXV.9)$$

$$N_{\varphi x} = -2gx\sin\varphi.$$

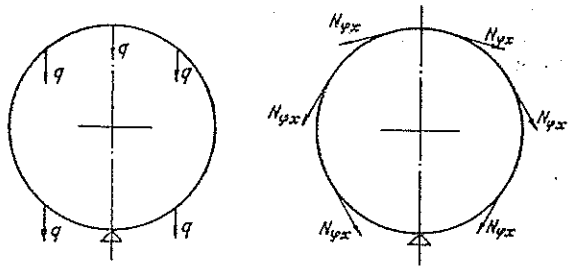


Fig. XXV.10. Scheme de încărcare la ovalizare.

b. Dimensionarea conductelor

Pentru dimensionarea conductelor după teoria de membrană, reazemele fiind la distanțe l, este necesar să se ia măsuri ca pe reazem conducta să nu se ovalizeze; pentru aceasta se prevăd pe reazeme inele de rigidizare, care împiedică ovalizarea conductei sub încărcarea conductei și a eforturilor $N_{\varphi x}$. La conductele cu diametru și deschidere mare poate exista pericolul de ovalizare și pe distanța dintre reazeme.

Inelele de rigidizare se verifică la ovalizare, considerînd încărcările și rezemarea din fig. XXV.10.

În apropierea inelelor stadiul de membrană este tulburat, apărînd momente, datorită faptului că deformațiile membranei sînt împiedicate. Obișnuit nu se ține seamă de aceste efecte de legătură.

Conductele cu diametre mai mici se calculează ca grinzi continue.

Momentele încovoietoare se iau:

— din încărcări verticale

$$M_x = q\frac{l^2}{12}; \qquad (XXV.10)$$

— din încărcări orizontale

$$M_y = p_v\frac{l^2}{12}, \qquad (XXV.11)$$

în care q reprezintă totalitatea încărcărilor verticale, iar p_v presiunea vîntului pe metru de conductă. Eforturile unitare sînt

$$\sigma_x = \frac{ql^2}{12W} = \frac{\dot{q}l^2}{3\pi d^2 l} \text{ și } \sigma_y = \frac{p_v l^2}{3\pi d^2 l}. \qquad (XXV.12)$$

Datorită presiunii interioare din conductă, în peretele conductei mai apar eforturile unitare normale:

— după tangenta la cercul director

$$\sigma_\varphi = \frac{pr}{t}; \qquad \text{(XXV.13)}$$

— după generatoare

$$\sigma'_x = \frac{pr}{2t}. \qquad \text{(XXV.14)}$$

Pentru dimensionarea conductelor sînt, în general, hotărîtoare eforturile unitare σ după direcția x (generatoare); trebuie ca

$$\sigma_x + \sigma'_x \leqslant R \text{ sau } \sigma_y + \sigma'_x \leqslant R. \qquad \text{(XXV.15)}$$

Dacă presiunile interioare sînt mari este necesar să se facă verificarea și cu σ echivalent.

Pentru a se evita flambajul pereților conductei trebuie ca eforturile unitare de calcul de compresiune σ să fie mai mici decît

$$\sigma \leqslant 0{,}75\,\frac{kEt}{r} \qquad \text{(XXV.16)}$$

în care k are valori între 0,08 și 0,12.

Verificarea sudurilor în adîncime se face la eforturile corespunzătoare poziției sufdurii; dacă are rădăcina sudată, rezistența sudurii este egală cu aceea a materialului de bază; cînd rădăcina nu este resudată, rezistența admisibilă a sudurii se reduce prin multiplicarea cu 0,7.

XXVI. Preîncălzitoare de aer

1. Descrierea sumară a preîncălzitoarelor

a. Alcătuire de ansamblu

Preîncălzitoarele de aer sînt construcții care fac parte din sectorul de furnale și au rolul să încălzească în prealabil aerul care se suflă în furnale. Sînt construcții din tablă, cilindrice cu axa verticală. Dimensiunile unui preîncălzitor, în funcție de capacitatea de încălzire necesară, sînt: diametrul secțiunii circulare orizontale între 7 și 9 m, iar înălțimea de la 35 la 45 m;

fundul este plat, iar la partea superioară este un capac. Pentru un furnal sînt construite trei la patru preîncălzitoare, de regulă patru; în timpul exploatării două din preîncălzitoare se încălzesc prin arderea gazului de furnal, iar alte două, încălzite mai înainte, servesc la încălzirea aerului trimis prin conducte de o suflantă.

În interiorul preîncălzitoarelor există o zidărie refractară de protecție a tablei, așezată pe fund, pe pereții laterali și sub cupolă. Gazele de furnal sînt arse într-o cameră de ardere, care începe aproximativ la o treime din înălțimea preîncălzitorului și se continuă pînă la baza cupolei de închidere a preîncălzitorului; camera de ardere este executată din zidărie refractară și are secțiunea aproximativ rotundă. Restul spațiului interior este umplut cu cărămidă refractară așezată în formă de fagure (fig. XXVI.1).

Construcția din tablă a preîncălzitorului prezintă o serie de găuri, prin care se introduc ștuțuri, legate la diferite conducte, sau care servesc la vizitarea interiorului la montaj sau reparații. Între zidăria de protecție a construcției metalice și tablă sînt lăsate spații, umplute cu materiale refractare compresibile, care permit deformațiile zidăriei în urma variațiilor temperaturii interioare.

b. Modul de funcționare

Gazul care iese de la furnal, după ce trece prin separatoarele de praf, este ars în două din cele patru preîncălzitoare în camera de ardere; gazele arse se ridică în spațiul de sub cupolă și trec prin golurile zidăriei în fagure,

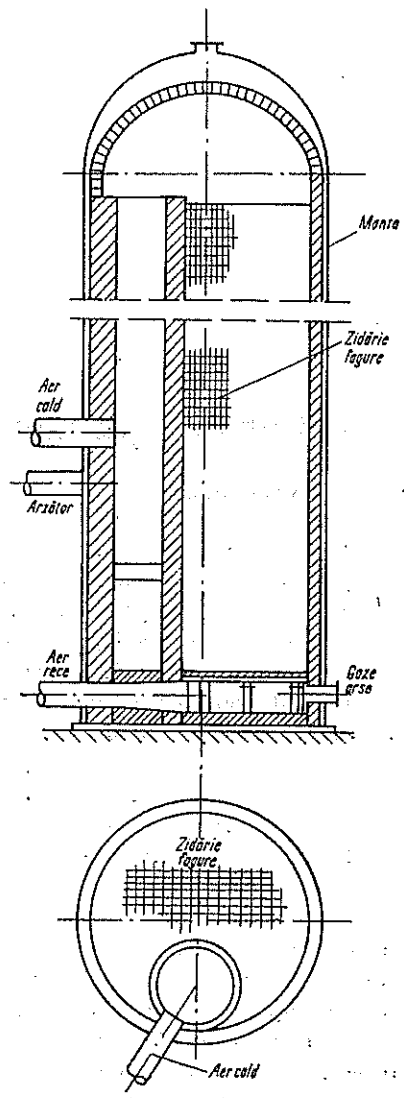


Fig. XXVI.1. Preîncălzitor de aer.

fiind evacuate pe la partea inferioară a preîncălzitoarelor. Temperatura interioară se ridică la circa 1 500° C la partea superioară și la 300—500° C la partea inferioară, temperatură pe care o capătă și zidăria refractară. După încălzire, prin preîncălzitoare este trecut aerul rece sub presiune trimis de o suflantă, care intră pe la partea inferioară a preîncălzitoarelor, străbate zidăria fagure de jos în sus, în sens invers gazelor arse, se ridică la partea superioară a preîncălzitoarelor, trece prin camera de ardere și este trimis prin gura de ieșire a aerului cald la furnale. În acest timp celelalte două preîncălzitoare reintră în faza de încălzire. Fiecare grup de cîte două preîncălzitoare este folosit pentru încălzirea aerului un timp relativ scurt (20—30 min). Gurile de intrare și ieșire a aerului și ale gazelor sînt prevăzute cu mecanisme de închidere, cu ajutorul cărora se fac manevrele necesare.

În timpul exploatării mantaua metalică atinge o temperatură care variază între +16°C și +80°C ; presiunea interioară ajunge în mod normal la 2,5—2,8 at.

2. Construcția metalică a preîncălzitoarelor

a. Alcătuire

Mantaua metalică cilindrică a preîncălzitoarelor este alcătuită din table de oțel asamblate prin sudură, mai întîi prin suduri verticale sub formă de virole circulare și apoi prin sudarea pe orizontală a virolelor între ele.

La partea superioară preîncălzitorul este închis cu un capac, de regulă semisferic, alcătuit din table, sudate între ele și de mantaua cilindrică.

Fundul preîncălzitorului, alcătuit din table sudate între ele, este plat și așezat pe un radier de beton armat ; mantaua metalică este sudată de plăcile fundului.

Preîncălzitorul este legat de fundație cu buloane de ancoraj.

Grosimea tablelor mantalei se determină prin calcul ; informativ poate fi folosită formula empirică

$$t = 1{,}6\ D \qquad \text{(XXVI.1)}$$

în care t este grosimea tablei, în milimetri, și D este diametrul preîncălzitorului, în metri. Grosimea tablei nu poate fi mai mică decît 12 mm ; grosimea tablelor cupolei și a fundului se ia în unele cazuri aceeași.

În prima virolă de la partea de jos a mantalei și în tablele fundului apar unele solicitări suplimentare din cauza perturbărilor produse de legătura dintre manta și fund și de sistemul de ancorare ; din aceste motive tablele primei virole și ale fundului rezultă ceva mai groase.

b. Detalii constructive

Tablele din care este confecționată mantaua și cupola sînt îmbinate cu suduri în X ; la montaj sudurile se fac în dublu K (fig. XXVI.2). Îmbinările între cupolă și manta se fac pe partea cilindrică la o mică distanță de începerea racordării cupolei. Îmbinarea între manta și fund se face cu suduri de colț sau în semi K, iar îmbinarea tablelor fundului cu suduri în V.

Golurile făcute în mantaua cilindrică pentru pătrunderea stuțurilor produc perturbări în dezvoltarea eforturilor din manta și slăbesc secțiunea în zona respectivă ; apar în aceste zone eforturi mari datorită golurilor și eforturilor remanente rezultate din sudare. Apare necesară întărirea zonei slăbite ; soluția constructivă folosită constă în introducerea unui inel de rigidizare care se sudează de manta și de tabla stuțului (fig. XXVI. 3) ; cînd golurile sînt mari se pot folosi două inele de rigididizare, așezate unul la interior și altul la exterior. Îmbinarea între manta, inel și stuț se face la montaj prin sudură, preferabil în K ; se folosește uneori sudură de colț, care este mai ușor de executat. Sudarea marginii exterioare a inelului de manta se face cu sudură de colț continuă, preferabil alungită.

La golurile prevăzute pentru diferite guri de vizitare se introuc tuburi scurte, care se închid cu un capac ; prinderea tuburilor gurilor de vizitare de manta se face în același mod și cu aceleași măsuri ca la prinderea stuțurilor (fig. XXVI.4).

Prinderea încălzitorului de fundație se face cu buloane de ancoraj, așezate în număr necesar pe perimetrul fundului (fig. XXVI.5).

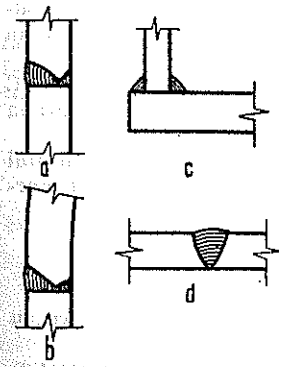


Fig XX.VI.2. Îmbinări sudate.
a — manta ; *b* — manta-cupolă ; *c* — manta-fund ; *d* — fund.

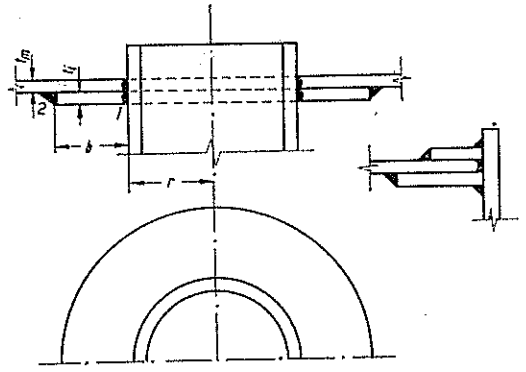


Fig. XXVI.3. Întărirea golului la pătrunderea stuțurilor.

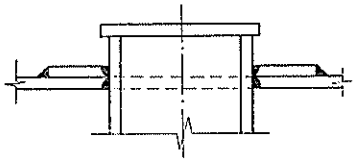


Fig. XXVI.4. Gură de vizitare.

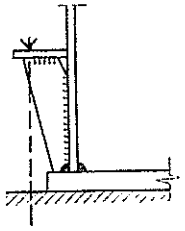


Fig. XXVI.5. Prinderea încălzitorului de fundație.

3. Calculul construcției metalice a preîncălzitoarelor

a. Acțiuni

În timpul exploatării, asupra construcției metalice a preîncălzitorului acțiunea cea mai importantă este presiunea aerului introdus pentru încălzire și care are o valoare impusă de presiunea la care se suflă aerul încălzit în furnal. Presiunea normală a aerului în încălzitor este de aproximativ 2,5 at, putînd ajunge la 3,0 at ; în general se admite ca presiune de calcul, valoarea presiunii la care este reglată suflanta de aer, prin care se trimite aerul rece sub presiune la preîncălzitor. Unele preîncălzitoare de la furnale au fost dimensionate la noi în țară la o presiune de 3,5 at.

La încercarea de presiune, care se face la recepția construcției preîncăltorului, înainte de darea în exploatare, valoarea presiunii de încercare se ia egală cu 1,25 p_c, adică $1{,}25 \times 3{,}5 \approx 4{,}4$ at.

Temperatura mantalei metalice în timpul exploatării variază între +20°C și +80° la +100°C, în funcție și de temperatura aerului exterior ; mantaua metalică este supusă deci și la unele variații de temperatură.

În buloanele de ancoraj, în afara eforturilor produse de acțiunea vîntului și a cutremurului, eforturi importante rezultă din efectul de ridicare a marginilor fundului sub acțiunea presiunii interioare.

b. Verificarea eforturilor unitare în table

Verificarea eforturilor în mantaua cilindrică (fig. XXVI.6) se face cu relațiile cunoscute

— efortul unitar tangențial $\sigma_0 = pr/t$ (XXVI.2)

— efortul unitar σ_v după generatoare, care rezultă din egalitatea

$$2\pi r t \sigma_v = \pi r^2 p$$

Fig.XXVI.7. Eforturi în jurul găurilor.

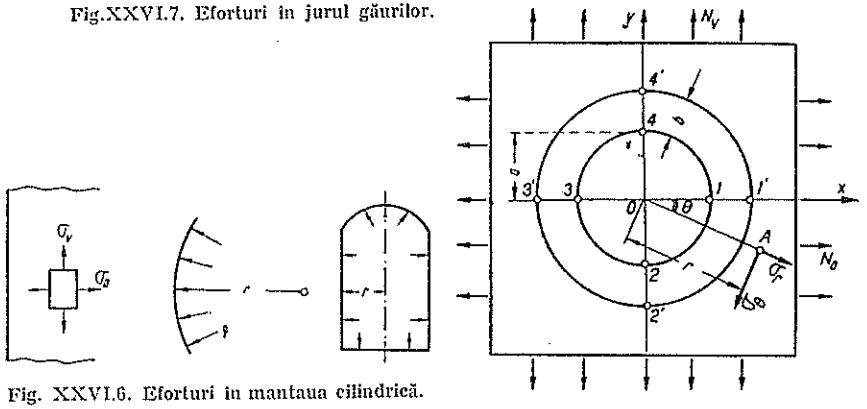


Fig. XXVI.6. Eforturi în mantaua cilindrică.

de unde

$$\sigma_v = \frac{pr}{2t} . \qquad \text{(XXVI.3)}$$

În aceste relații :

p este presiunea interioară, în daN/cm² ;

r — raza cilindrului ;

t — grosimea tablei, în cm.

Eforturile unitare în cupola semisferică nu depășesc pe cele din mantaua cilindrică.

Verificarea eforturilor unitare în jurul găurilor (fig. XXVI.7) se poate face cu relațiile de la cap. IV, 3, c din lucrarea [31] ; conform acestor relații într-un punct A, la distanța r de centrul găurii eforturile unitare după direcția razei σ_r și perpendicular pe rază σ_θ, au valorile :

— din eforturile N_0

$$\sigma_r = \frac{N_0}{2t}\left(1-\frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{N_0}{2t}\left(1+\frac{3a^4}{r^4}-\frac{4a^2}{r^2}\right)\cos 2\theta \qquad \text{(XXVI.4)}$$

și

$$\sigma_\theta = \frac{N_0}{2t}\left(1+\frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{N_0}{2t}\left(1+\frac{3a^4}{r^4}\right)\cos 2\theta ; \qquad \text{(XXVI.5)}$$

— din eforturile N_v

$$\sigma_r = \frac{N_v}{2t}\left(1-\frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{N_v}{2t}\left(1+\frac{3a^4}{r^4}-\frac{4a^2}{r^2}\right)\cos 2\theta \qquad \text{(XXVI.6)}$$

și

$$\sigma_\theta = \frac{N_v}{2t}\left(1+\frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{N_v}{2t}\left(1+\frac{3a^4}{r^4}\right)\cos 2\theta . \qquad \text{(XXVI.7)}$$

S-a notat cu 0 unghiul pe care îl face raza punctului A cu direcția eforturului N_0 respectiv N_v ; N_0 și N_v sînt eforturile după direcțiile x și y, în daN/cm, și t este grosimea peretelui.

Cu aceste relații se pot determina eforturile unitare radiale și tangențiale în orice punct la marginea găurii adică la distanța a de centrul O și la marginea inelului de întărire, la distanța $a+b$, prin însumarea rezultatelor date de relațiile (XXVI.4) cu (XXVI.6) și (XXVI.5) cu (XXVI.7).

Verificarea se face cu presiunea p folosită la încercarea de presiune ; eforturile N_0 și N_v au valorile $N_0=pr$ și $N_v=pr/2$. Dacă verificarea la aceste concentrări de eforturi se face prin metoda rezistențelor admisibile, coeficientul de siguranță se ia $c=1{,}15$; în cazul cînd se folosește metoda stărilor limită, coeficientul acțiunilor se ia egal cu 1,0.

Inelul de întărire (v. fig. XXVI.3) se alege astfel încît eforturile unitare la marginea găurii (punctul *1*) și în tabla mantalei la terminarea inelului (punctul *2*) să rămînă în limite admisibile. Din relațiile de calcul rezultă că eforturile unitare se micșorează în măsura în care raza punctului considerat crește ; verificarea în punctul *1* conduce la alegerea grosimii t_1 a inelului (în general egală cu grosimea tablei mantalei sau puțin mai mare), iar verificarea din punctul *2*, la alegerea lățimii b a inelului.

Eforturi importante apar în pereții preîncălzitorului la legătura pereților cu fundul preîncălzitorului (fig. XXVI.8).

Construcția preîncălzitorului este supusă aici la :

— presiunea aerului p, pe pereții cilindrici, pe fund și pe capac ;

— încărcarea dată de zidărie din interiorul preîncălzitorului pe placa de bază, q_z ;

În pereții cilindrici apare efortul N_v, a cărui valoare este

$$N_v=\frac{pr}{2},\ [\text{daN/m}]. \qquad \text{(XXVI.8)}$$

Greutatea zidăriei interioare (din jurul mantalei) q_z echilibrează efortul N_v, pînă la o anumită valoare a presiunii p ; pentru valori mai mari marginea plăcii de bază se ridică pe verticală cu o valoare v, care depinde de p și q_z.

Peretele la legătura cu fundul ($y=0$) nu se deplasează pe orizontală, deformația fundului sub efectul forței R fiind practic nulă ; la o distanță suficientă de fund peretele are o deplasare radială, rezultată din teoria de membrană.

Rezultă ca urmare în perete un moment M, a cărui valoare este maximă la legătura cu placa de fund. Variația acestui moment pe verticală este arătată în fig. XXVI.9.

Cunoscînd valoarea momentului M, efortul unitar în peretele cilindric este

$$\sigma=\frac{N_v}{t}+\frac{6M}{t^2} \qquad \text{(XXVI.9)}$$

în care N_v și M sînt exprimați pe un centimetru lungime de perete.

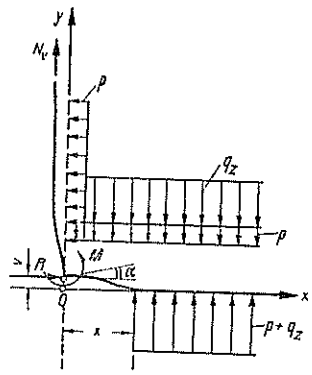


Fig. XXVI.8. Solicitarea legăturii dintre perete și fund.

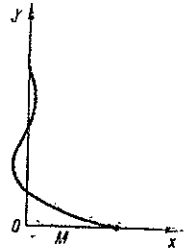


Fig. XXVI.9. Variația momentului M în perete.

Dacă la calcul se folosește metoda rezistențelor admisibile pentru presiunea de încercare coeficientul de siguranță se ia $c=1{,}15$; în cazul cînd se utilizează metoda stărilor limită, coeficientul acțiunii p se ia egal cu 1,00.

Valoarea momentului M se poate determina printr-un calcul exact ; influența momentului este mare ; în relația (XXVI.9) efortul unitar are o valoare de 2—3 ori mai mare decît efortul unitar din perete calculat după teoria de membrană.

În tratatele de specialitate sînt date relații și diferite abace pentru calculul momentului M.

c. Verificarea buloanelor de ancoraj

Buloanele de ancoraj au rolul de a împiedica ridicarea repetată a marginilor bazei preîncălzitorului, în urma variației presiunii interioare. Ridicării marginii bazei i se opune greutatea zidăriei care apasă pe lățimea x (fig. XXVI.8). Există o presiune pînă la care ridicarea nu se produce, efortul N_v în perete avînd o valoare mai mică decît $P=qx$. Buloanele de ancoraj este necesar să fie calculate la un efort de întindere.

$$H=(N_v-qx)b \qquad \text{(XXVI.10)}$$

unde :

N_v este efortul de întindere în perete pentru presiunea de încercare pe 1 cm ;

q — încărcarea pe fund, egală cu $p+q_z$, în daN/cm² ;

b — distanța între buloane, în cm.

Distanța x, în cm, pe care se ridică placa de bază depinde de presiunea interioară și rezultă din calcule. Acoperitor la presiunea de încercare distanța x se poate lua 0,15 r.

4. Măsuri de siguranță

a. Alegerea materialului

Construcția metalică a preîncălzitorului de aer pentru furnale se proiectează și se execută după regulele de proiectare și de execuție pentru construcții metalice în general ; în exploatare și la proba de presiune construcția metalică are de suportat presiuni interioare ; poate fi supusă la temperaturi ridicate de peste 100° C și în unele situații (la încercare) la temperaturi sub 0°C ; datorită acestei situații construcția metalică intră în categoria recipienților de presiune și ca urmare urmează să fie îndeplinite și condițiile speciale cerute recipienților de presiune din categoria în care sînt încadrați.

La asemenea construcții există pericolul apariției ruperilor fragile, care în general pot fi influențate de mai mulți factori între care :

— caracteristicile materialului, care ar prezenta o tendință spre rupere fragilă la temperaturi scăzute sau chiar peste 0°C, avînd o compoziție și o structură necorespunzătoare ;

— concentrările de eforturi, care apar aici în jurul găurilor și din sudare ; influența acestor concentrări este mult defavorabilă în cazul oțelurilor care, din diferite cauze, n-au suficiente calități plastice ;

— viteza de creștere a eforturilor în material, care dacă este prea mare poate produce ruperea la eforturi destul de mici și care favorizează manifestarea altor factori care conduc la rupere fragilă ;

— concepția constructivă și modul de rezolvare a detaliilor, îmbinărilor etc. ; calculele de rezistență obișnuite nu conduc singure la o siguranță suficientă împotriva ruperilor fragile ; este necesar să fie respectate în același timp o serie de măsuri care au rolul să reducă cît mai mult diferitele influențe care favorizează ruperea fragilă.

În general, ruperea fragilă se produce cînd se suprapun două sau mai multe cauze care conduc la același efect. La alegerea materialului trebuie ținut seama de calitățile plastice ale materialului, de temperatura de exploatare și de temperatura la care se va face încercarea de presiune, înțelegîndu-se prin aceasta temperatura pe care o capătă tabla construcției metalice a încălzitorului ; la încercarea de presiune, care se face de regulă cu zidăria neîncălzită, temperatura tablei peretelui este aceea a mediului ambiant. Prescripțiile din țara noastră referitoare la asigurarea construcțiilor sudate contra ruperii fragile prevăd în această privință ca la alegerea calității oțelului să se ia în considerare, pe lîngă temperatura construcției, grosimea laminatelor, importanța construcției, natura solicitărilor, modul de realizare a sudurilor și altele.

Oțelurile trebuie să fie sudabile în condiții bune.

Obișnuit, pentru construcția unui preîncălzitor de aer se poate folosi oțel cu marca OL37-2 k, pentru table cu grosimi mai mici decît 20 mm și dacă încercarea de presiune se face la o temperatură a mediului ambiant mai mare decît +5°C ; pentru grosimi de table mai mari se impune să se folosească

OL37-3 k sau chiar OL37-4 k, în funcție de grosime ; este necesar să se adopte o clasă superioară clasei 2 k, indiferent de grosimea tablei, dacă încercarea de presiune se face la temperaturi scăzute (sub 0°C).

Este de menționat că temperaturile la care sînt stabilite în laborator valorile energiei de rupere prin șoc au scopul de a preciza clasele de calitate ale oțelurilor ; temperatura critică la care se poate produce ruperea fragilă a unei construcții este în general mai ridicată decît aceea determinată pe eprubete în laborator, putînd exista diferențe de la 5 la 15°. Deoarece tablele prezintă o sensibilitate la rupere fragilă cu atît mai accentuată cu cît au o grosime mai mare, este indicat să se evite utilizarea unor table prea groase, folosind oțeluri slab aliate, atunci cînd este necesar.

b. Controlul execuției

Controlul execuției este necesar să fie făcut cu multă atenție. Prin proiect trebuie precizată marca și clasa de calitate a oțelurilor din care sînt produse laminatele, modul de sudare al diferitelor îmbinări și condițiile de calitate pe care trebuie să le îndeplinească sudurile. Pentru sudurile de colț și în K, acolo unde se folosesc, se vor preciza modalitățile de control de calitate (dimensiuni, aspect, probe de etanșeitate și eventual alte controale).

Condițiile de calitate ale sudurilor și metodele de control vor fi precizate prin proiect sau se vor face trimiteri la diferite standarde, normative sau instrucțiuni tehnice speciale referitoare la execuția și recepția construcțiilor metalice ale preîncălzitorului de aer.

La execuție se va controla fiecare tablă care se introduce în lucrare, eliminîndu-se tablele cu defecte de orice fel, dacă nu sînt în toleranțele admise ; nu pot fi acceptate table cu exfolieri. În cazul cînd există dubii asupra calității unor table, se vor face analize chimice și încercări mecanice în scopul verificării măsurii în care acestea corespund.

c. Încercarea de presiune

Încercarea de presiune se face numai după ce s-au făcut toate verificările și încercările prevăzute în proiect și s-au executat remedierile impuse de rezultatele verificărilor ; înainte de a se trece la încercarea finală se fac și probele de etanșeitate.

Proiectul trebuie să cuprindă o serie de elemente în legătură cu această probă, între care : presiunea la care se face încercarea, durata menținerii presiunii de încercare, temperatura la care se face încercarea.

Înainte de a se trece la efectuarea încercării de presiune este recomandabil să se facă o bună aerisire a interiorului încălzitorului, în scopul evacuării gazelor ; este bine să se facă, o analiză a aerului de la partea superioară a preîncălzitorului pentru a se constata dacă s-au adunat în această zonă amestecuri de aer și gaze combustibile, care ar putea forma amestecuri explozive.

În același timp este necesar să se ia măsuri ca în apropierea preîncălzitorului să nu existe instalații în funcțiune care folosesc gaze inflamabile, de la care în mod direct sau indirect ar putea pătrunde în preîncălzitor gaze; se va verifica de asemenea că în apropiere nu sînt instalații electrice care ar permite punerea sub tensiune electrică a construcției metalice a preîncălzitorului direct sau prin curenți vagabonzi.

Încercarea de presiune poate produce unele accidente, uneori destul de periculoase. În timpul încercării de presiune, pe o rază de cel puțin 50 m în jurul preîncălzitorului, nu este admis să se afle oameni; personalul, strict necesar pentru încercare, se va afla în afara zonei periculoase, manevrele aparatelor și citirile presiunilor făcîndu-se de la distanță.

Partea a cincea

ÎNTREȚINERE ȘI CONSOLIDĂRI

XXVII. Defecte și cauzele lor

1. Defecte constatate la recepția lucrărilor

Construcțiile metalice au avantajul că piesele lor, în majoritatea cazurilor, sînt neacoperite și pot fi ușor controlate. Sînt cazuri cînd piese puse în operă prezintă abateri de execuție sau de montaj, față de prevederile proiectului, abateri care pot micșora capacitatea de rezistență a construcției sau pot produce greutăți în exploatare. Unele defecte nu prezintă aparent dezavantaje grave; cu timpul însă, în exploatare, ele se pot amplifica, sau pot avea influențe defavorabile asupra comportării construcției.

Recepționarea construcțiilor metalice are între altele scopul de a controla dacă execuția și montajul construcțiilor s-au făcut cu respectarea prescripțiilor tehnice și dacă nu sînt abateri mai mari decît cele admise.

Cu ocazia recepționării construcției metalice trebuie controlate cu atenție deosebită:

— cotele în plan și în elevație; în mod deosebit trebuie să se controleze cotele grinzilor căilor de rulare, cotele legate de poziția unor gabarite de liberă circulație sau de așezare a unor instalații;

— verticalitatea elementelor structurii și așezarea lor în planul structurii;

— legăturile dintre elemente, îmbinări și prinderi; o atenție deosebită trebuie dată prinderilor stîlpilor de fundație, prinderilor dintre elementele care alcătuiesc structurile principale de rezistență, legării grinzilor căilor de rulare de stîlpi etc;

— așezarea diferitelor contravîntuiri, portale, grinzi de frînare, prinderea lor și montarea barelor acestora, care trebuie făcută fără îndoituri și fără săgeți mari, care le-ar împiedica să intre în acțiune;

— vopsirea tuturor elementelor construcției și în special a acelor părți care se revopsesc greu în exploatare sau care sînt expuse mai mult coroziunii.

La verificarea unei construcții trebuie dată importanța cuvenită diferitelor părți din construcție; trebuie să se cerceteze însă în primul rînd acele elemente la care defectele pot avea consecințe grave. Menționarea unor anumite lucrări care trebuie privite cu o atenție deosebită are numai scopul de a da o imagine asupra organizării lucrărilor de verificare. Sînt defecte sau abateri la piese sau în locuri de mică importanță care pot avea consecințe locale, dar grave; nici acestea nu trebuie să scape controlului.

Verificările și controlul execuției, făcute în timpul execuției în uzină și în timpul montajului, de către delegați ai beneficiarului sau de serviciul de control intern al executantului trebuie consemnate în procese-verbale, cu menționarea abaterilor admise, dacă au existat. Comisia de recepție trebuie însă să constate dacă aceste verificări s-au făcut și să aprecieze măsura în care ele corespund condițiilor tehnice cerute.

De aceea, este recomandabil ca la o construcție și în special la construcțiile mai importante, să se întocmească un dosar, care să cuprindă următoarele piese:

— planurile de execuție și de montaj, în care să se treacă toate modificările care au intervenit la execuție și la montaj, cu justificarea admiterii lor;

— procesele verbale de recepționare sau de control intern, încheiate la uzină înainte de livrarea construcției;

— certificatele de calitate pentru materialele din care s-au confecționat elementele construcției, cum și pentru electrozi, nituri și șuruburi;

— procesele verbale ale controlului făcut în timpul montajului.

Dosarul, completat și cu constatările tehnice ale comisiei de recepție, rămîne ca un document care arată cum s-a executat în realitate construcția și care sînt eventualele abateri, care trebuie observate atent în timpul exploatării ei. De asemenea, dacă mai tîrziu se ivesc unele defecte sau sînt necesare consolidări ori transformări, există elemente pe baza cărora se pot face ușor proiectele necesare.

Defectele care se pot constata cu ocazia controlului execuției, al montajului și al recepționării unei construcții metalice sînt variate. Defectele cele mai obișnuite sînt date în continuare.

Defectele de sudare sînt defecte frecvente care constau în arderea materialului la marginea cordonului de sudură, nepătrunderea sudurii, fisuri și dimensiuni mai mici la lățimea și mai ales la lungimea cordoanelor de sudură. Uneori nu se curăță sudura de zgură și se vopsește peste aceasta, ceea ce dă o impresie greșită asupra dimensiunilor sudurii. Un defect grav este nesudarea rădăcinii sudurilor executate în V. Pot exista și defecte interne, cu nepătrunderi, lipsă de legătură, pori etc.

La sudarea unor elemente se produc răsuciri sau curbări, din cauza aplicării unei tehnologii de sudare necorespunzătoare, care fac piesa improprie sau îi reduc din calitate. Dacă la sudare nu se păstrează o ordine corectă în executarea sudurilor, apar stări de eforturi mari, care duc la fisurarea sudurilor imediat sau mai tîrziu, după un timp oarecare de exploatare. Alte defecte grave sînt lipsurile și șanțurile de la începutul și de la sfîrșitul cordoanelor de sudură, mai ales în cazul elementelor de construcție supuse la încărcări dinamice. Calitatea materialului depus poate să nu corespundă calității materialului pieselor.

La îmbinările nituite, mai ales la cele cu diametre de 23 mm și mai mari, găurile pot fi insuficient umplute sau niturile pot fi bătute în găuri insuficient curățate. Este important, mai ales la construcțiile cu solicitări

mari, ca piesele să aibă marginile găurilor racordate atît la capul existent cît și la cel format la batere. Lipsa acestor racordări produce concentrări de eforturi mari la legătura tijei nitului cu capul și provoacă retezarea capului în timpul exploatării. Alte defecte curente sînt lipsa de strîngere a pachetului de piese, capete incomplete sau deplasate și cu unele goluri între acestea și piese. Elementele uzinate au uneori abateri în ceea ce privește dimensiunile secțiunilor.

La montajul construcțiilor metalice se pot face greșeli, din care unele pot influența cotele de ansamblu sau cotele locale ale construcției, iar altele rezistența și stabilitatea elementelor construcției.

Prin așezarea greșită a stîlpilor față de poziția din planuri pot rezulta greutăți în așezarea rectilinie și la cota necesară a unor elemente, cum sînt șinele căilor podurilor rulante, sau nu se poate asigura deschiderea corectă pentru podurile rulante. Este posibil din aceeași cauză ca elementele stîlpilor să intre în gabaritul de circulație al podurilor rulante sau să reducă neadmisibil intervalul de siguranță. Greșeli frecvente se pot produce la fixarea stîlpilor de fundații prin buloane de ancoraj, din cauza deplasării acestora la turnarea fundațiilor. În unele cazuri tija buloanelor de ancoraj nu rămîne suficient în afară pentru înșurubarea completă a piuliței normale și a celei de siguranță. Aceste defecte trebuie constatate imediat prin controlul efectuat în timpul montajului și remediate înainte de a se trece la definitivarea montajului.

Cînd se montează stîlpii înainte și apoi se ridică fermele, este posibil ca din abateri de așezare a stîlpilor și din abateri la lungimile fermelor, acestea să nu mai reazeme suficient pe scaunele prevăzute în acest scop. Introducerea unor plăci de compensare groase între gusetul fermei și stîlp înrăutățește condițiile de lucru ale îmbinării fermei cu stîlpul și face ca reacțiunea fermei să fie transmisă de șuruburile îmbinării, care sînt de obicei brute; aceasta nu se poate realiza însă decît cu deformații plastice, uneori neadmisibile în îmbinare. Alteori, găurile elementelor care se îmbină nu mai corespund și se lărgesc sau se dau altele noi cu flacără oxiacetilenică, ceea ce este inadmisibil. Sînt și cazuri cînd, din cauza nepotrivirilor, fermele se așază dezaxat față de stîlp, fapt care în unele cazuri poate duce la solicitări dezavantajoase.

Din lipsa unei verificări a elementelor înainte de ridicare și montare, unele bare rămîn cu deformații sau sînt strîmbe ceea ce, pe lîngă aspectul neplăcut, duce la intrarea în acțiune a acestor bare cu întîrziere, dacă sînt întinse, sau favorizează flambajul lor dacă sînt comprimate. Neatenția la montarea panelor și a contravîntuirilor poate provoca așezarea fermelor înclinat față de verticală sau cu tălpile curbate în plan. Aceste abateri trebuie constatate și corectate în timpul în care se face montajul, deoarece corectarea lor este foarte greu de făcut mai tîrziu.

Panele acoperișului se montează adesea cu săgeți în planul învelitorii, fie din cauza ordinii greșite de așezare a elementelor de învelitoare, fie din faptul că tiranții, prevăzuți uneori pentru ancorarea panelor, nu se întind

suficient; unele deformații sînt produse de abaterile la dimensiunile panelor, care sînt mai lungi sau mai scurte.

Contravîntuirile învelitorii, ale pereților, ale stîlpilor, pot prezenta de asemenea greșeli de montaj; barele contravîntuirilor nu se întind bine, sînt lăsate cu săgeți mari sau sînt îndoite; în asemenea situații, contravîntuirile nu mai sînt suficient de eficace. O greșeală, care se face la montarea contravîntuirilor prinse cu șuruburi, constă în mărirea găurilor în gusee sau în bare, din cauza nepotrivirilor de montaj; datorită acestei situații, barele se încarcă cu eforturi foarte reduse, pînă cînd se stabilește contactul tijelor șuruburilor, iar consecința este mărirea deformațiilor construcției.

Grinzile căilor de rulare pot prezenta defecte de montaj uneori grave. Așezarea greșită în plan ca poziție sau cu frîngeri duce la poziții deplasate ale șinei de rulare, cu excentricități față de inimă și provoacă eforturi suplimentare în grinzi și mai ales în sudurile de prindere a tălpii de inimă. Este neadmisibilă de asemenea așezarea acestora înclinat față de verticală. Alte abateri constau în așezarea neparalelă a grinzilor celor două căi din aceeași deschidere sau la alte cote decît cele din proiect, rezultînd din acestea greutăți în funcționarea podului și chiar reducerea gabaritului de circulație.

Grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante mai pot prezenta defecte de prindere între inimă și tălpi, devieri față de planul vertical, înclinări și curbări ale tălpilor peste limitele admise.

Îmbinările și prinderile sînt părțile care prezintă des defecte. Deseori îmbinările sau prinderile nu se execută ca în proiect, nu se pun toate niturile și șuruburile sau nu se sudează cordoanele cu dimensiunile prevăzute. Din cauza unor abateri de așezare sau tăiere la lungime a pieselor, nu rămîne loc suficient pentru dezvoltarea necesară a prinderii. Pentru a remedia acest defect, la montaj se introduc piese suplimentare, se așază cordoanele de sudură în alt mod, li se modifică dimensiunile, astfel că se poate ajunge la prinderi dezaxate sau la prinderi cu piese intermediare, care slăbesc prinderea. Este foarte important ca ordinea de execuție a unor îmbinări să fie respectată riguros, pentru a nu se modifica distribuția eforturilor în structura metalică. Aceasta nu poate fi constatată decît în timpul montajului și comisia de recepție trebuie să se asigure că execuția a fost bine făcută cerînd procesele verbale de constatare. În multe cazuri, în special în locurile unde baterea niturilor la montaj se execută greu, se înlocuiesc niturile cu șuruburi; această înlocuire poate fi uneori acceptată, dacă execuția s-a făcut îngrijit, alezîndu-se găurile, și dacă s-au folosit șuruburi păsuite de aceeași rezistență totală ca și niturile.

Așezarea șinei căii podurilor rulante se face de multe ori fără atenția cuvenită. În afară de așezarea cu excentricitate, șina poate să nu fie fixată de grindă, corespunzător forțelor transversale date de pod, ceea ce duce repede la ondularea ei. Șina mai poate fi așezată înclinat, fie din cauză că este răsucită, fie datorită așezării înclinate a tălpii superioare a grinzii; în acest caz, bandajul roții nu mai reazemă pe întreaga lățime a șinei, se

dezvoltă presiuni locale mari și apare o uzură accentuată a bandajului roților și a șinei (fig. XXVII.1). Situația fiind diferită în lungul șinei, uzura este neuniformă și de aceea șina se degradează foarte repede. Este posibil ca prin așezarea șinei, roțile să frece cu buza bandajului pe o parte sau pe alta a șinei, uzîndu-se repede și dereglînd șina din poziția ei. Defecte pot prezenta și rosturile șinelor, prin neașezarea la nivel și prin fixarea insuficientă, ceea ce dă naștere la șocuri la trecerea podurilor rulante.

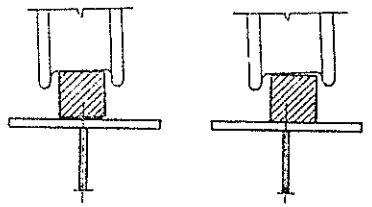


Fig. XXVII.1. Așezarea defectuoasă a șinei.

Cu ocazia recepționării lucrărilor pot fi constatate și alte defecte, uneori foarte grave.

Astfel s-au găsit la unele construcții cu zăbrele diagonale comprimate înlocuite cu diagonale dimensionate pentru întindere, înnădiri ale unor grinzi supuse la încovoiere în alte poziții decît cele din proiect, solicitate la momente încovoietoare mai mari ca cele pentru care a fost dimensională înnădirea.

În multe cazuri secțiunile barelor sînt schimbate, alcătuindu-se din alte elemente, corniere, table, care nu mai corespund solicitărilor la care sînt supuse barele; îndeosebi nu sînt respectate caracteristicile necesare împiedicării pierderii stabilității. Înlocuirea unei bare din OL 37 nu se poate face cu elemente din OL 52 numai pe baza ariei secțiunii.

Defecte care pot avea urmări supărătoare în exploatare sînt produse uneori din montarea unor elemente care în timpul transportului, la depozitare sau din alte cauze, au căpătat deformații plastice și la montaj au fost forțate pentru a se putea încheia construcția; în asemenea situații pot apărea solicitări în exploatare neadmisibile pentru secțiunea respectivă.

2. Defecte care apar în exploatare

Părțile slabe ale unei construcții, ca rezultat al concepției de proiectare, al execuției în uzină sau al montajului, sînt puse în evidență după un timp oarecare de exploatare.

Îmbinările pieselor și legăturile lor cu structura se slăbesc cu timpul la construcțiile nituite sau prinse cu șuruburi și, dacă nu sînt reparate la timp, duc la degradări mari; cordoanele de sudură fisurează cu timpul, dacă sînt insuficiente sau necorect executate. Sînt cazuri cînd se distrug niturile de gît ale grinzilor căilor de rulare și crapă sudurile de prindere ale inimii de talpa superioară, fie din cauza dimensionării insuficiente, fie din faptul că execuția nu s-a făcut îngrijit.

Șina grinzilor căilor de rulare se dereglează uneori foarte repede, deplasîndu-se și luînd o formă șerpuită în plan. Defectul se produce din cauza adoptării unui sistem de prindere necorespunzător, din cauza strîngerii insuficiente a șuruburilor plăcuțelor, a așezării șinei pe talpa vopsită sau murdară de unsoare sau a funcționării defectuoase a podurilor rulante. Dereglarea șinelor constituie un defect care trebuie înlăturat, eliminîndu-se pe de o parte cauzele care o produc, iar pe de alta, readucîndu-se periodic șinele în poziția corectă. Șinele uzate se înlocuiesc înainte de a ajunge la o uzură accentuată, care provoacă la rîndul ei o deteriorare a roților podurilor rulante.

Deplasarea laterală a grinzilor căilor de rulare se poate produce deseori la construcțiile din depozite de materiale, prin tasarea neegală a fundațiilor stîlpilor de susținere (rotirea fundațiilor), în cazul în care se depozitează cantități mari de materiale lîngă stîlpi. Corectarea se poate face prin deplasarea șinei, ceea ce duce însă la așezări excentrice, sau mai bine, prin reașezarea stîlpului în poziția verticală.

Sînt cazuri cînd grinzile căilor de rulare, din cauza unor tasări ale fundațiilor, capătă denivelări mari în lungul lor, cînd șina de pe o cale ajunge la diferențe mari de nivel față de șina celeilalte căi. Asemenea situații, prea pronunțate, îngreunează funcționarea podurilor rulante și accentuează uzura lor și a elementelor construcției. Înlăturarea unor defecte de acest fel este mult mai grea și de aceea trebuie să se ia măsuri încă de la proiectare pentru evitarea lor. Sînt însă terenuri pe care nu se pot evita unele tasări neegale ale stîlpilor sau, pe durata exploatării, pot interveni unele accidente care să ducă în mod inevitabil la diferențe de tasări. Pentru asemenea situații, proiectarea trebuie să adopte soluții constructive care să permită ridicarea grinzilor căilor de rulare sau chiar a stîlpilor; în acest scop, bazele stîlpilor se scot deasupra pardoselilor sau se fac în jurul lor cutii, fără a se mai îmbrăca în beton.

Oscilarea unor piese în timpul funcționării podurilor rulante apare des la unele construcții. Astfel oscilează lateral talpa inferioară a unor grinzi de căi de rulare, cînd reazemele se află mult mai sus decît nivelul tălpii inferioare și nu există contravîntuiri laterale și la talpa inferioară; sînt frecvente asemenea cazuri la grinzile macaz sau la altele asemănătoare. Grinzile căilor de rulare pot oscila lateral, cînd grinzile de frînare sînt insuficiente; de asemenea, oscilează lateral grinzile cu deschidere mare, necontravîntuite orizontal și la talpa inferioară.

Într-o construcție metalică, supusă la eforturi dinamice, oscilează barele care au unele curburi prea mari, barele insuficient întinse, cum și barele calculate numai la întindere în sisteme cu zăbrele încrucișate, deoarece în mod real acestea primesc și eforturi de compresiune. Unele oscilări se produc și la barele întinse care au coeficienți de subțirime prea mari, cum ar fi tălpile inferioare ale fermelor. Unele dintre aceste oscilări sînt fără importanță asupra rezistenței construcției; sînt însă supărătoare și dau senzația de nesiguranță cînd sînt prea mari și prea frecvente.

În unele cazuri, oscilările unor piese pun în vibrație alte elemente de construcție de care sînt legate, cum ar fi șarpanta pereților, prinsă direct de grinzile de frînare ale căilor de rulare.

Deformațiile unor părți sau ale întregii construcții în sens transversal sau longitudinal construcției pot, în unele cazuri, să depășească limitele admise și ajung să fie supărătoare pentru exploatare. În cele mai multe situații, defectul este datorit unei concepții de proiectare necorespunzătoare, unor insuficiente aprecieri a forțelor sau rezolvării necorecte a unor detalii. Fenomenul pune în evidență lipsa unor contravîntuiri, insuficienta lor dezvoltare sau așezarea lor defectuoasă; la construcții mai înalte se poate întîmpla ca așezarea contravîntuirilor să fie făcută fără a se asigura o scurgere directă a eforturilor spre fundații, iar contravîntuirile să nu aibă rigidități corespunzătoare și mai ales să nu fie dispuse corect. Deplasările mari pot fi provocate și de o execuție mai puțin îngrijită, de prinderea insuficientă a unor bare din sistemul de contravîntuire sau de existența unor găuri mari la prinderile cu buloane ori a unor bare îndoite.

În unele cazuri, în exploatare pot apărea fisuri la diferite elemente ca inimile grinzilor, gusee le și zăbrelele unor grinzi supuse la eforturi dinamice etc. Fisurile sînt provocate în special de concentrarea eforturilor unitare în unele zone, de modificarea bruscă a secțiunilor, de existența unor defecte de sudare etc. În alte cazuri ele se datoresc unei dimensionări insuficiente sau dezvoltării unor forțe mult mai mari decît cele considerate la calcul, fie din sporirea sarcinilor în mod voit, fie din cauza degradării mijloacelor de transport.

Alte defecte care se dezvoltă în exploatare sînt deformațiile locale ale unor piese, cum sînt îndoirea tălpilor stîlpilor de care se prind alte bare, ondularea tălpilor grinzilor cu inimă plină din cauza subțirimii lor și chiar valoarea inimilor grinzilor. Sînt provocate de lipsa unor măsuri pentru înlăturarea lor, de unele greșeli de execuție sau de sporirea încărcărilor.

După un timp de exploatare unele elemente ale construcției pot fi deteriorate prin izbiri, prin stropirea cu metale topite, prin coroziune cu acțiune intensă și altele; unele elemente ale construcției metalice pot fi deteriorate prin acțiunea podurilor rulante uzate sau cu defecte, care produc acțiuni foarte defavorabile asupra unor elemente ale construcției metalice.

XXVIII. Întreținerea construcțiilor metalice

1. Scopul întreținerii. Prevenirea și descoperirea defectelor

a. Scopul întreținerii

Întreținerea are ca scop, prin ansamblul unor operații permanente sau întîmplătoare, să asigure menținerea unei construcții în stare bună, astfel ca să poată fi folosită în condiții normale.

Întreținerea urmărește în primul rînd să prevină apariția unor defecte, care ar impune lucrări de remediere sau care, neremediate la timp, ar putea produce accidente cu diferite consecințe.

În același timp se urmărește să se descopere începuturile apariției unor defecte, înainte ca acestea să se pună în evidență prin amplificarea lor, prin scoaterea din funcțiune a unor elemente ale construcției sau prin producerea unor dificultăți în folosirea normală a construcției sau a unor părți din construcție.

Operațiile de prevenire a apariției unor defecte prin lucrări de întreținere corect făcute au o deosebită importanță deoarece prin aceste operații se menține o durată lungă de existență a construcției metalice și se asigură pe întreaga durată o exploatare normală. În același timp, prin aceste operații se evită cheltuieli pentru repararea unor defecte, care pot uneori ajunge la valori mari.

Între lucrările care se efectuează pentru prevenirea apariției defectelor, în cele ce urmează sînt arătate cele mai importante, de la caz la caz putînd interveni și altele.

b. Controlul periodic

Controlul periodic constituie baza prevenirii apariției defectelor la o construcție; se face la anumite intervale, care diferă după natura și importanța construcțiilor și după consecințele pe care le-ar avea apariția unor defecte. În cadrul aceleiași construcții, diferite elemente ale construcției metalice se controlează la intervale mai scurte, după importanța pe care o au pentru buna exploatare a construcției și după pericolul pe care îl prezintă degradarea lor.

Vopsirea construcției metalice trebuie refăcută la diferite intervale de timp; unele elemente sau părți de construcție, în funcție de condițiile locale, trebuie revopsite la intervale de timp mai scurte sau oricînd controlul periodic a constatat și semnalat distrugeri locale ale acoperirilor de protecție.

Elementele unei construcții metalice sînt supuse acțiunii corosive cu atît mai intens cu cît mediul este mai agresiv; straturile de protecție, a căror natură și compoziție sînt alese în funcție de mediul în care se găsește construcția, se distrug după un interval de timp, local sau pe întreaga construcție metalică, și, dacă nu sînt refăcute, începe acțiunea de coroziune a metalului, cu consecințele respective.

O construcție metalică care se găsește într-un spațiu închis cu umiditate normală și în care nu există agenți corosivi sau sînt într-o proporție sub o anumită limită, care depinde și de natura acoperirilor de protecție, se revopsește la intervale de timp mari, care pot fi de 10 la 15 ani.

Totuși, și în această situație pot exista locuri unde aerisirea este insuficientă, unde se produc depuneri de praf și există un exces de umiditate; în aceste zone distrugerea acoperirilor de protecție este mai intensă și pericolul coroziunii este mare, astfel că apare necesitatea revopsirii construcției la intervale mai scurte. Aceste zone trebuie să fie în atenția controlului periodic.

În unele sectoare ale industriilor chiar construcțiile metalice din spații închise sînt supuse unor acțiuni corosive mai intense și straturile de protecție sînt distruse sau degradate la intervale de timp mai scurte; în asemenea cazuri, straturile de acoperire local sau pe întreaga construcție se refac la intervale mai scurte, care sînt funcție de agresivitatea mediului.

Construcțiile metalice situate în aer liber sînt expuse coroziunii în mod diferit în funcție de natura mediului în care se găsesc. Sînt situații cînd acțiunea mediului este redusă și revopsirea construcției se face la intervale mari, care pot fi pînă la 10—12 ani; în alte cazuri, cînd construcția se găsește în zone în care aerul este încărcat cu umiditate și substanțe corosive, distrugerea straturilor de acoperire și coroziunea sînt foarte intense.

Rolul întreținerii nu este însă acela de a reface straturile de acoperire; cînd în anumite zone se produce des distrugerea straturilor de acoperire datorită unor defecțiuni locale, cum ar fi scurgeri de apă prin acoperiș, pierderi de apă sau abur de la unele instalații din apropierea unor elemente metalice, aceste defecțiuni trebuie semnalate la timp și înlăturate.

Pe acoperișurile construcțiilor din unele zone industriale, situate în apropierea unor instalații industriale care degajă praf, cum sînt furnalele, oțelăriile cu convertizoare obișnuite, termocentralele care ard cărbuni, se depune praf, în cantități care depind de distanța construcției la sursa de foraj și de natura sursei. În general, praful depus pe acoperișuri este considerat o încărcare normală, care se ia în considerare la dimensionarea construcțiilor respective.

Pe unele platforme sau acoperișuri din imediata apropiere a surselor de praf depunerile pot deveni foarte mari și praful trebuie îndepărtat la anumite intervale de timp, care depind de intensitatea depunerilor. La alte

categorii de construcții, cum sînt galeriile susținute de estacade, prevăzute cu benzi care transportă materiale pulverulente, este posibil ca aceste materiale să cadă pe pardoseala galeriei în cantități mari, mai ales în locurile de trecere de pe o bandă pe alta; pot fi și alte cauze care să producă depuneri de materiale sau praf pe pardoseala și pe acoperișul galeriilor. Dacă la proiectarea acestor construcții nu au fost luate în considerare asemenea depuneri sau au fost acceptate valori limitate, serviciile de întreținere, urmărind mersul depunerilor, trebuie să ia măsuri pentru îndepărtarea acestora la anumite intervale de timp.

În industrie sînt numeroase compartimente în care au loc degajări de praf și la care sînt prevăzute instalații de reținere a prafului sau de separare a lui din gazele care se elimină; dacă asemenea instalații se defectează sau nu funcționează corect, praful se depune pe acoperișul construcțiilor din imediata apropiere repede și în cantități mari. Pe lîngă măsurile de curățare, este necesar să se semnaleze situația și să se elimine cauzele care produc o asemenea situație anormală.

În multe cazuri, defecte și chiar accidente au fost produse de depunerile de zăpadă pe acoperișurile unor construcții metalice. Încărcările cu zăpadă, obișnuite sau aglomerate, care se iau în considerare la calculul construcțiilor sînt date în prescripțiile de încărcări; este posibil însă ca în unele cazuri, încărcările cu zăpadă să fie mai mari ca cele luate în considerare la proiectare. Acoperișurile halelor industriale au în general suprafețe foarte mari, astfel că, în mod obișnuit, nu este prevăzută curățirea acoperișurilor de zăpadă. Sînt însă construcții care au acoperișuri cu forme care favorizează aglomerările de zăpadă pe anumite zone, dar care în general nu au suprafețe mari; la asemenea construcții proiectarea poate prevedea curățarea zăpezii de pe acoperișuri. Este necesar ca serviciul de întreținere să asigure această curățare la timp; controlul periodic trebuie intensificat în perioadele cu ninsori, în scopul de a se lua la timp măsurile necesare pentru prevenirea unor accidente prin îndepărtarea aglomerărilor de zăpadă; în același timp controlul trebuie că constate și să semnaleze locurile unde asemenea aglomerări sînt frecvente pentru a se putea lua eventual măsuri pentru limitarea sau înlăturarea lor.

Tasările fundațiilor stîlpilor halelor industriale constituie cauzele multor defecte și accidente care apar la diferite construcții.

Tasarea fundațiilor se poate produce prin coborîrea acestora pe verticală și poate fi practic uniformă la toți stîlpii halei, eventual numai între două rosturi transversale halei sau deseori este diferită la stîlpii de pe același șir longitudinal de stîlpi și între stîlpii de pe două șiruri longitudinale; în această situație apar diferențieri de tasări între stîlpii vecini de pe același șir longitudinal, ceea ce, dacă diferențele sînt mari, conduce la dificultăți de exploatare a podurilor rulante și la solicitări defavorabile, peste limitele admise ale rezistențelor la unele din elementele structurii și ale grinzilor continue ale căilor de rulare ale podurilor rulante.

Tasarea fundațiilor poate să se manifeste prin rotirea fundațiilor, însoțită sau nu și de tasarea pe verticală, ceea ce are de asemnea consecințe uneori total neacceptabile.

În cazurile cînd fundațiile au fost corect dimensionate, așezate și executate, tasările peste limitele admise la proiectare pot proveni din diferite alte cauze, dintre care se menționează acelea care obișnuit au influențe mai grave.

Umezirea pămîntului pe care este așezată fundația produce tasări cu atît mai accentuate cu cît umezirea este mai intensă, dacă umezirea se produce pe o adîncime mare și cu atît mai mult cu cît pămîntul este mai sensibil la înmuiere.

Umezirea pămîntului poate fi locală, pe suprafețe în care se găsesc una sau mai multe fundații; în acest caz, de regulă este provocată de pierderi de apă din instalațiile de alimentare cu apă, de la canalizare sau din scurgeri de la diferite obiecte care folosesc cantități mari de apă, cum sînt unele bazine, instalații de răcire și altele. Umezirea pămîntului poate să se producă pe suprafețe mari, de obicei în cazul pămînturilor sensibile la înmuiere. În funcție de modul de fundare, în această situație se produc, în general, tasări supărătoare. Tasările mari ale pămînturilor sensibile la înmuiere pot proveni și din ridicarea nivelului apelor subterane din diferite cauze, între care pierderile mari de apă din instalațiile de alimentare cu apă, din canalele de evacuare ale apelor uzate și de la diverse instalații care folosesc apă.

Unul din obiectivele importante ale serviciului de întreținere este de a controla și menține în stare normală de funcționare toate instalațiile care folosesc apă, conductele de alimentare și canalele de scurgere, eliminîndu-se sau reducîndu-se în limite admisibile pierderile și scurgerile de apă în pămînt; această măsură se impune să fie aplicată cu multă rigurozitate îndeosebi în cazul cînd construcțiile sînt fundate pe terenuri sensibile la înmuiere, direct sau indirect.

Tasarea unor stîlpi, însoțită de rotiri supărătoare, se produce și în cazurile cînd în apropierea unor stîlpi și chiar deasupra fundațiilor se depozitează materiale sau unele semifabricate în cantitate mare. Asemenea situații nu trebuie să fie îngăduite.

c. Descoperirea apariției defectelor

Descoperirea defectelor la apariția lor, cît mai aproape de începutul apariției lor, în unele cazuri constituie o operație simplă, în altele însă constituie o problemă foarte dificilă.

Pentru depistarea unor defecte este necesar să se facă anumite observații, să se culeagă informații de la persoane care prin activitatea pe care o au în producție, pot să-și dea seama de apariția unor fenomene anormale, ca denivelări, vibrații ale unor elemente, funcționarea defectuoasă a podurilor rulante etc.

Cu cît defectele sînt descoperite mai devreme, cu atît remedierea lor este mai ușoară și mai simplă.

Tasările pe verticală și rotirile stîlpilor halelor, estacadelor și altele, care susțin grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante, sînt puse în evidență deseori de modul cum funcționează podurile rulante; greutăți în funcționarea podurilor rulante se constată însă cînd tasările încep să fie suficient de pronunțate. La halele fundate pe pămînturi la care pot interveni tasări este necesar ca la anumite intervale de timp să se verifice nivelul șinelor căilor de rulare și verticalitatea stîlpilor. Este indicat de asemenea să se verifice poziția în plan a șinelor așezate pe grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante; deplasarea acestora modifică distanța între șinele căilor unei deschideri, uneori într-o astfel de măsură încît șinele și bandajele roților încep să se uzeze, podurile rulante circulă greu și dau solicitări suplimentare mari în grinzile de frînare, care pot ceda. Circulația grea a podurilor rulante poate fi provocată și de funcționarea defectuoasă a podurilor rulante; roțile uzate, sistemul de acționare a roților de la cele două capete ale podului care nu funcționează corect și altele pot face ca podul să circule anormal, să se înțepenească, ceea ce provoacă solicitări mari orizontale în grinzile de frînare și în cadrele transversale ale structurii. În asemenea situație trebuie eliminate cauzele care le produc, adică este necesar să fie reparate podurile rulante. Uzura pronunțată a șinelor poate fi produsă și de alegerea necorespunzătoare a oțelului șinelor față de presiunile transmise de roți și de rezistența bandajelor roților; șinele din oțel cu rezistențe mici față de rezistența bandajelor se uzează foarte repede; la frînarea podurilor rulante pe suprafața șinelor din oțeluri cu rezistențe mici se produc alunecări de material, îngrămădiri cu ridicături și denivelări, care conduc foarte repede la uzarea șinelor, a bandajelor și a unor elemente ale podurilor rulante, ceea ce duce în final la schimbarea șinelor, a roților podurilor rulante și la repararea capitală a podurilor rulante.

Slăbirea prinderilor unor elemente cu șuruburi poate avea cauze simple; poate fi produsă de deșurubarea piulițelor insuficient strînse la montaj, de unele vibrații, de strîngerea excesivă la montaj a piulițelor, depășindu-se limita de curgere în tijă; în acest din urmă caz, sub solicitările din timpul exploatării tijele șuruburilor se pot alungi mult și produc jocuri în îmbinare; strîngerea piulițelor șuruburilor din îmbinare nu constituie o soluție de rezolvare; trebuie înlocuite șuruburile.

Fisurarea unor suduri de prindere sau solidarizare, îndeosebi la legătura dintre inimă și talpa superioară a grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante, se produce din cauze foarte diferite; în afară de insuficiența dimensiunilor sau a defectelor curente, la unele suduri fisurarea poate fi produsă de solicitări suplimentare, care produc eforturi peste limita de rezistență a sudurilor, avută în vedere la proiectare. În cazul sudurilor de gît de la prinderea inimii de talpa superioară solicitările suplimentare pot fi produse de așezarea greșită a șinei la montaj, deplasată prea mult față de inimă,

sau din cauză că șina reazemă excentric datorită formei răsucite a șinei, îndoirii sau înclinării tălpii superioare. În acest caz, simpla refacere a sudurii nu constituie o soluție de remediere; trebuie corectată rezemarea șinei.

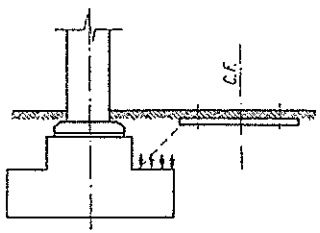


Fig. XXVIII.1. Așezarea greșită a unei linii ferate.

Fisurarea sudurilor de gît și a unor suduri de înnădire a tălpilor poate fi datorită fenomenului de oboseală, accentuat de concentrări de eforturi, de unele defecte ale sudurilor, de unele rezolvări constructive necorespunzătoare etc.

Cauzele unor defecte uneori pot fi găsite printr-o examinare atentă a situației. La o hală cu structură transversală în cadre, cu stîlpi și ferme, nituită, cu poduri rulante grele, după un timp de exploatare podurile rulante funcționau din cînd în cînd foarte rău, se înțepeneau și săreau capetele niturilor de prindere a fermelor de stîlp. După o examinare atentă s-a constatat că aceste defecte se manifestă la trecerea unor trenuri care intrau în hală. Linia ferată a fost construită după darea în exploatare a halei și a fost așezată pe o margine a deschiderii halei, în apropierea stîlpilor de margine (fig. XXVIII.1). La trecerea trenurilor presiunile excentrice pe talpa fundației stîlpilor produceau rotirea fundației și deformarea stîlpilor, astfel că deschiderea podurilor rulante se micșora, iar forțele orizontale la legătura fermelor cu stîlpii deveneau foarte mari. Într-o asemenea situație, înlocuirea niturilor defecte nu putea constitui o soluție de remediere.

2. Remedierea defectelor

a. Aspecte în legătură cu repararea defectelor

Repararea defectelor apărute la o construcție are scopul ca, prin lucrările care se fac, să se readucă părțile cu defecte ale construcției la o stare normală așa cum erau prevăzute inițial. Prin reparațiile care se fac nu trebuie să se schimbe caracterul legăturilor între elementele existente, într-o măsură în care s-ar modifica schema statică admisă la proiectare; lucrările în care apar și modificări ale sistemului static ies din categoria lucrărilor de reparații, sînt mult mai complexe și cer o serie de măsuri specifice unor asemenea lucrări; operațiile din această categorie de lucrări sînt considerate consolidări.

Lucrările de reparații cer ca urmare operații simple, care se fac pentru înlăturarea sau prevenirea unor defecte și care se pot și se fac în mod curent cu echipele de întreținere a construcțiilor.

Înainte de a se trece la operațiile de remediere a defectelor este necesar ca un specialist, maistru, șef de echipă etc., cu pregătire și experiență în asemenea lucrări, să examineze defectul și să stabilească ce operații sînt de executat și cum se execută, precizînd, cînd este cazul, măsurile de siguranță necesare, ca sprijiniri și altele; în unele cazuri poate fi necesar ca programul de reparație să fie întocmit de un inginer de specialitate, care după caz va întocmi și unele schițe sau planuri.

Pentru repararea unor defecte la construcții metalice este necesar să fie cunoscută calitatea oțelului din care sînt executate piesele care se repară: marca oțelului, clasa de calitate, conținutul de carbon și altele, cum ar fi valoarea energiei de rupere prin șoc (reziliența); în general este recomandabil ca materialele care se folosesc la repararea unor defecte să aibă caracteristici de calitate aproximativ egale cu acelea ale materialului pieselor cu defecte. Dacă asemenea date nu rezultă din proiectul lucrării, se vor lua probe din elementele care se vor repara, care se vor analiza și supune unor încercări pentru obținerea datelor necesare.

În unele situații se pune întrebarea dacă o remediere este cazul să fie efectuată sau nu sau să fie făcută într-un anumit mod deoarece unele modalități de reparare introduc solicitări suplimentare foarte defavorabile. De exemplu, dacă la recepționarea construcției sau după darea în exploatare se constată că unele din sudurile în adîncime la înnădirea tălpilor unor elemente, cum sînt stîlpii sau grinzile de rulare ale podurilor rulante, nu au clasa de calitate prevăzută în proiect, trebuie mai întîi stabilit ce slăbire aduc îmbinării defectele suplimentare ale sudurii executate; dacă această slăbire este mică, este preferabil să fie admisă fără remedieri, chiar dacă rezistența de calcul este depășită cu pînă la 10...15%; în cazul cînd se impune o remediere a îmbinării cu sudură, trebuie ținut seama că repararea prin tăiere și refacerea sudurii într-o piesă a cărei contracție este împiedicată de ansamblul elementului, conduce la apariția unor eforturi suplimentare mari din cauza contracției cordonului de sudură în adîncime în urma răcirii. În asemenea situații trebuie folosite alte mijloace de remediere, prin care inconvenientele semnalate sînt eliminate sau reduse în proporție acceptabilă.

Ținînd seamă că repararea defectelor construcțiilor metalice, chiar dacă sînt mici, pun uneori probleme a căror soluționare cere cunoștințe și experiență de specialitate; stabilirea modalităților de reparare și conducerea lucrărilor trebuie făcută de personal cu calificarea necesară.

b. Diverse lucrări de remediere la construcțiile metalice

Lucrările de reparare a defectelor se face în general prin echipele de întreținere ale întreprinderii căreia îi aparțin construcțiile; sînt însă cazuri cînd acestea se fac prin organizații speciale de construcții, cînd întreprinderea nu are un serviciu de întreținere sau cînd lucrările sînt complexe,

ori au un volum prea mare. În cele ce urmează se prezintă unele modalități de executare a lucrărilor de reparații.

Corectarea defecțiunilor care apar în urma tasărilor se face ușor dacă la proiectare s-au prevăzut soluții constructive care să ușureze executarea lucrărilor. În general, la construcțiile metalice așezate pe terenuri unde este posibil să se producă tasări, la proiectare se adoptă soluții care să permită să se efectueze corectări cu ușurință. Denivelările diferențiate ale grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante se corectează prin ridicarea grinzilor; în cazul cînd nu este suficient gabaritul de circulație al podurilor rulante se ridică și elementele construcției acoperișului; ridicarea construcției acoperișului se face și în cazul cînd, în urma denivelărilor, nu mai este asigurată scurgerea apelor de pe acoperiș. În urma tasărilor fundațiilor este posibil să se producă și unele deplasări laterale ale grinzilor căilor de rulare; corectarea se face de obicei prin aducerea grinzilor în poziția corectă.

Denivelări și rotiri ale stîlpilor se produc în unele cazuri la construcțiile de susținere ale grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante din depozitele descoperite. Corectarea aici se face obișnuit prin ridicarea și reașezarea bazelor stîlpilor în poziția necesară; pentru a se ușura executarea acestei operații, bazele stîlpilor metalici trebuie să fie așezate pe fundații peste nivelul terenului și astfel alcătuite încît să fie posibile unele ridicări și deplasări pe orizontală.

In urma funcționării nenormale a podurilor rulante se produc de regulă, pe lîngă deplasarea și uzarea șinelor, ruperi de bare la grinzile de frînare cu zăbrele, ruperea unor prinderi sudate între bare sau între tabla care formează inima grinzii de frînare și tălpile grinzilor căilor de rulare; apar în unele cazuri și defecțiuni la prinderea grinzilor de frînare de stîlp. Asemenea defecte sînt produse în principal de solicitările mari rezultate din funcționarea defectuoasă a podurilor rulante, dar producerea acestor ruperi poate fi cauzată și de subdimensionarea grinzilor de frînare și a prinderilor lor. Înainte de a se lua o hotărîre în privința soluției de reparare a defectelor este necesar să fie examinate podurile rulante, cărora trebuie să li se facă reparațiile necesare pentru a le aduce în situația de a funcționa normal.

Trebuie reținut faptul că o reparație care ar consta numai în întărirea grinzilor de frînare, în general, nu rezolvă problema; rigidizarea grinzilor de frînare, poate face ca funcționarea podurilor rulante nereparate să devină și mai grea și solicitările să se amplifice, cu unele consecințe defavorabile și asupra structurii de rezistență a halei.

Cînd apar defecte care se manifestă prin voalarea inimilor grinzilor cu inimă plină, remedierea se face ușor prin introducerea între rigidizările verticale ale grinzilor a unor diagonale, care pot fi așezate numai pe o parte a inimii; înainte ca aceste diagonale să fie prinse cu sudură de inimă, sînt fixate de inimă cu diferite dispozitive astfel încît prin strîngerea acestor dispozitive, inima să se îndrepte; o astfel de rezolvare face pe de altă parte ca forțele tăietoare din grindă să fie luate într-o măsură însemnată de aceste diagonale și de rigidizările transversale.

Cauzele care pot produce defecte sînt foarte diferite. Grinzile căilor de rulare ale unor poduri rulante ușoare, formate din profile laminate dublu T și continue pe mai multe deschideri mici (circa 4 m), erau fixate de capetele unor console prin prinderi cu nituri dispuse pe inima profilelor. La intervale de cîțiva ani profilele trebuia să fie înlocuite din cauză că fisurau pe reazeme; o analiză atentă a stabilit că grinzile se rupeau pe reazeme unde se manifesta defectul de rupere prin oboseală; în inimile profilelor slăbite prin găuri de nit erau concentrate la reazeme eforturi mari, întreaga reacțiune transmițîndu-se de la grinzi la console numai prin inimă. Modificarea modului de rezemare a grinzilor pe console a înlăturat complet cauzele care produceau defectul.

În cazul defectelor produse de așezarea greșită a unei linii ferate într-o hală (v. fig. XXVIII.1), soluția de remediere constă în îndepărtarea liniei de stîlpii halei, astfel încît fundațiile acestora să fie în afara zonei de influență a liniei ferate; dacă această soluție nu se poate aplica, șinele căii ferate se pot așeza pe grinzi de beton armat dispuse în lungul liniei ferate și rezemate pe fundații proprii, plasate între fundațiile stîlpilor.

3. Organizarea unității de întreținere

În orice întreprindere care este dotată cu clădiri sau alte construcții trebuie să existe personal care se ocupă cu întreținerea acestora. În întreprinderile mici personalul de întreținere este în număr mic și este încadrat în unul din serviciile întreprinderii, de exemplu serviciul administrativ; în întreprinderile mari, în uzine, fabrici, rezultă în general necesară o unitate specială pentru întreținerea construcțiilor, a cărei dezvoltare și organizare este în funcție de mărimea și natura întreprinderii în care își desfășoară activitatea. Unitatea de întreținere desfășoară o activitate care se rezumă la:

— urmărirea și controlul construcțiilor de orice natură în scopul de a le menține în stare normală și pentru a descoperi la timp apariția unor defecte;

— executarea lucrărilor de întreținere curentă, care se referă în general la lucrări de reparații mici;

— executarea lucrărilor de remediere a defectelor, care au un caracter mai deosebit;

— ținerea evidenței defectelor și remedierilor; în cazul apariției unor defecte, pînă la luarea unei decizii privind soluția de remediere, este necesară o urmărire a modului cum se manifestă aceste defecte.

În atribuțiile unității de întreținere pot intra și unele lucrări de modificări, completări etc. la construcțiile existente.

Unitatea de întreținere dispune de diferite ateliere, cu dotarea necesară pentru efectuarea diferitelor lucrări de reparații curente sau mai complexe.

În complexe industriale, în uzine, etc. unitatea de întreținere este organizată pe specialități de lucrări de întreținere: construcții în general, construcții metalice, căi ferate, drumuri, instalații de apă și canalizare, instalații electrice, de încălzire și ventilare și altele; dezvoltarea acestor secții sau a unora dintre ele poate ajunge la forme deosebite. În cazul unor complexe industriale mari rețeaua de căi ferate uzinale devine foarte extinsă; în asemenea situații, întreținerea căilor ferate capătă o organizare proprie și poate forma o unitate separată împreună cu unitatea de exploatare a căilor ferate uzinale.

În cazul așezărilor industriale din zonele cu pămînturi sensibile la înmuiere, în cadrul serviciului de întreținere a construcțiilor este necesar să fie prevăzută o unitate specială pentru urmărirea pierderilor de apă din instalații și canalizări, a modului cum variază nivelul apei subterane și a tasărilor care apar la diferite construcții. Organizarea și buna funcționare a acestei unități prezintă o importanță deosebită în asemenea situații, pentru cunoașterea și eliminarea la timp a cauzelor care ar determina apariția unor tasări mari și periculoase pentru toate categoriile de construcții: construcții de hale, construcții sociale, depozite, căi ferate etc.; în lipsa unei urmăriri organizate, în special a pierderilor de apă în pămînt, apar deteriorări a căror remediere devine complicată și costisitoare; sînt cunoscute multe cazuri în care, datorită neglijenței în urmărirea pierderilor de apă și a cauzelor care le produc, s-a ajuns la degradarea completă a unor construcții.

XXIX. Consolidări

1. Stabilirea necesităților de consolidare

a. Elemente generale

Cauzele care conduc la consolidarea unei construcții metalice sînt numeroase și variate. Necesitatea consolidării, în principiu, poate să fie impusă de cauze care pot proveni din:

— apariția unor defecte grave la unele din elementele construcției metalice sau poate fi consecința avarierii altor elemente cum sînt fundațiile, lipsei unor legături sau contravîntuiri, insuficienței dimensiunilor secțiunilor unor bare, datorită proiectării sau execuției și altele;

— sporirea încărcărilor la care este supusă construcția sau unele din părțile construcției, ca de exemplu înlocuirea unor mijloace de ridicare și transport cu altele mai grele;

— introducerea în elementele construcției metalice la execuție a unor oțeluri cu o marcă sau clasă de calitate inferioare celor acceptate la proiectare;

— schimbarea de destinație a construcției, cu posibilitatea de a se dezvolta unele acțiuni mai defavorabile decît cele pentru care a fost proiectată construcția ;

— apariția unor deformații ale ansamblului construcției sau la unele părți ale construcției care împiedică folosirea normală a contrucției ;

— unele cauze aparținînd proiectării, cum ar fi neluarea în considerare a unor acțiuni, fie că nu sînt cunoscute de proiectant, fie că sînt omise ;

— acceptarea la proiectare a unor simplificări în schema statică care conduc la solicitări cu abateri neîngăduite sau a unor legături necorespunzătoare ;

— adoptarea la proiectare a unor soluții constructive necorespunzătoare condițiilor în care vor fi folosite unele elemente ale construcției.

Defectele care apar la elementele unor construcții și care pot fi întîlnite mai des au în general o importanță mai mare sau mai redusă și conduc la lucrări de consolidare mai dezvoltate, uneori complicate, sau la lucrări puțin importante și simple.

Unele defecte constau în deteriorarea locală a unor elemente ale construcției metalice prin izbiri sau prin topire, datorită scurgerii unor materiale topite ; consecințele pot fi limitate la unele porțiuni mici dintr-un element și deci poate fi suficientă o consolidare locală. Dacă însă s-a distrus o parte mai importantă din secțiunea elementului sau întreaga secțiune a fost ruptă și elementul respectiv face parte dintr-un ansamblu constructiv, ca de exemplu o grindă cu zăbrele, dacă nu s-a ajuns la distrugerea grinzii, eforturile din bara deteriorată sînt luate de alte elemente și în grinda respectivă apare o altă distribuție de eforturi cu unele consecințe mai mult sau mai puțin periculoase pentru ansamblul elementului din care face parte bara deteriorată ; în acest caz, consolidarea poate fi mai extinsă și mai complicată.

Tasarea unor fundații, din diferite cauze, poate avea ca efect denivelarea unor elemente, solicitarea în material rămînînd în limite admisibile ; denivelările pot deranja sau nu folosirea construcției. Alteori, aceste tasări pot produce solicitări în unele locuri ale elementelor de construcții peste limita de curgere ; într-un asemenea caz este indicată ridicarea la nivel a părților denivelate și, dacă s-au produs defecte ca fisuri, ruperi, se iau măsurile de consolidare corespunzătoare.

Contravîntuirile cu bare îndoite nu-și îndeplinesc rolul pe care îl au sau îl îndeplinesc într-o măsură necorespunzătoare ; consecințele sînt mișcarea supărătoare a unor elemente ale construcției în timpul circulației podurilor rulante, oscilarea unor bare, încărcarea neuniformă a elementelor structurii și altele ; cînd contravîntuirile au un rol în conlucrarea spațială, acest rol nu mai poate fi îndeplinit în mod corespunzător.

Defectele care constau în existența unor bare cu secțiuni insuficiente pot conduce la reducerea coeficientului de siguranță într-o măsură oarecare, care însă nu ar putea fi admisă, ceea ce impune consolidarea ; în cazurile cînd

s-a ajuns la solicitări în domeniul plastic se impune o examinare atentă a consecințelor care au rezultat și luarea unor măsuri în funcție de gravitatea acestora.

Foarte des sînt întîlnite suduri cu fisuri sau cu defecte de structură ; fisurile, îndeosebi în suduri sau în apropierea acestora, pot avea consecințe cu urmări grave, deoarece fisurile au tendința de a se dezvolta și a se propaga în timpul exploatării ; sînt periculoase și fisurile care se produc în material la oarecare distanță de cordoanele de sudură. Este necesar să se stabilească natura și cauzele care le-au produs, care pot fi : dimensiuni insuficiente, fenomene de oboseală, tendința de rupere fragilă a materialului pieselor sau sudurilor și altele și să se ia măsurile corespunzătoare.

În general, sporirea încărcărilor impune unele consolidări ; aceasta se poate hotărî numai după ce s-au făcut verificările construcției sau părților influențate de sporirea încărcărilor.

Sînt situații cînd la executarea unei construcții se introduc laminate din oțeluri de altă calitate : de exemplu, la fermele cu tirant ale unei hale industriale executate din oțel slab aliat cu siliciu s-au introdus unele table din OL37 ; faptul s-a observat din întîmplare la montaj, după ce majoritatea fermelor erau ridicate și acoperișul executat. O verificare făcută la toate fermele a confirmat că la șase ferme au fost introduse unele table din OL37. Această situație a impus consolidarea acestor ferme.

Schimbarea destinației unei construcții poate ridica probleme diferite : consolidarea unor elemente, desființarea unor stîlpi și altele ; este necesară recalcularea construcției și întocmirea unui proiect pentru părțile care eventual vor fi modificate.

Deformațiile mari pe care le au unele elemente ale unei construcții sau construcția în ansamblu pot rezulta din diferite cauze, cum ar fi : dimensionarea insuficientă la deformații, lipsa sau existența unor contravîntuiri necorespunzătoare ; unele deformații care apar la circulația podurilor rulante produc oscilarea sau vibrarea unor elemente ale construcției care pot fi supărătoare ; în unele cazuri folosirea normală a construcției este îngreuiată iar în altele nu mai este posibilă. Înlăturarea acestor defecte se poate face prin consolidări sau completări, prin introducerea unor contravîntuiri etc.

b. Datele necesare stabilirii soluției de consolidare

Consolidarea elementelor unei construcții se face pe baza unor date ce se culeg prin examinarea amănunțită a elementelor care se vor consolida și uneori a ansamblului structurii ; cînd au apărut unele defecte este necesar să fie stabilite cauzele care le-au produs. În general, elementele necesare sînt cele care se cer la proiectare ; unele probleme care apar la consolidare sînt însă mai complexe decît cele care se pun la proiectare și de aceea sînt necesare unele date suplimentare.

Inginerul care se ocupă de consolidarea unei construcții trebuie să aibă cunoștințe și experiență care să-i permită să-și dea seama cum se va deforma

și comporta construcția sub acțiunile la care va fi supusă după efectuarea lucrărilor de consolidare, nu numai în părțile consolidate, ci și în ansamblul ei.

Tema pe baza căreia se face consolidarea trebuie să cuprindă următoarele date :

— calitățile materialelor elementelor care se consolidează și care se referă la marca oțelului, clasa de calitate ; în unele cazuri poate fi necesară și cunoașterea conținutului de carbon, mangan, fosfor, sulf ;

— acțiunile la care este supusă construcția înainte și după consolidare ;

— variațiile de temperatură climatice și tehnologice ;

— natura mediului, din punct de vedere al agresivității, în care se va găsi construcția după consolidare ;

— elemente în legătură cu necesitatea consolidării ; aceste elemente sînt în general informative și urmează a fi verificate, completate și modificate pe baza analizei ce trebuie făcută înainte de a se definitiva soluția de consolidare.

Datele menționate mai înainte, pe care trebuie să le cuprindă tema de proiectare a consolidării, depind de natura consolidării ; unele date pot lipsi sau pot fi necesare și altele ; datele necesare care lipsesc la întocmirea temei, se completează pe parcurs.

c. Consolidarea sau refacerea construcției

Înainte de a se trece la consolidarea unei construcții metalice industriale este necesar să se examineze dacă consolidarea este rațională și economică sau este mai indicat să se refacă construcția în total sau parțial. Pe baza datelor obținute din examinarea construcției se stabilesc soluțiile de consolidare ; cunoscîndu-se volumul și complexitatea consolidărilor, se poate stabili costul lor. Se pot aprecia de asemenea consecințele care rezultă pentru exploatare, ca reducerea, pe timpul lucrărilor de consolidare, a volumului producției, întreruperea unor procese de producție pe unele intervale de timp și altele.

Reguli generale după care să se stabilească dacă trebuie făcută consolidarea sau este mai indicat să se înlocuiască o construcție cu alta nouă este greu de stabilit ; această hotărîre poate fi luată numai după o examinare atentă a elementelor specifice diferitelor situații locale. În general, cînd costul lucrărilor de consolidare se ridică la peste 40% din cheltuielile cerute de o construcție nouă, consolidarea nu mai este indicată.

O construcție veche, cu o concepție constructivă care nu mai corespunde cerințelor tehnologiilor de producție noi, poate fi avantajos să fie înlocuită total sau parțial, dacă o construcție nouă aduce avantaje sensibile în desfășurarea rațională și economică a producției.

În unele cazuri este posibil ca o construcție metalică care n-ar mai corespunde cerințelor de exploatare impuse la un moment dat să fie demontată și mutată, căpătînd o altă destinație cu sau fără unele completări.

Oricare ar fi soluția de consolidare este indicat să se adopte soluții simple, care să ofere siguranța necesară și în același timp să nu strice aspectul construcției la interior și exterior ; trebuie avută în vedere și estetica consolidărilor, care este posibil să fie asigurată fără cheltuieli suplimentare.

2. Posibilități de consolidare

a. Întărirea secțiunilor elementelor slabe

Întărirea secțiunilor elementelor slabe se face prin adăugarea unor elemente noi ; elementele existente sînt însă încărcate cu unele eforturi ; după consolidare, surplusurile de încărcări vor da eforturi atît în elementele existente cît și în cele adăugate. Aceasta impune, în unele situații, ca elementele noi să aibă o secțiune prea mare și să nu fie folosite la limita de rezistență. Consolidarea diferitelor elemente trebuie făcută în starea de solicitare corespunzătoare situației în care elementul respectiv este cît mai descărcat ; în unele cazuri este indicat să se facă o descărcare forțată.

Întărirea unei grinzi cu inimă plină se poate face prin adăugarea unor corniere sau platbande la tălpi (fig. XXIX.1). În cazul cînd sudurile dintre talpă și inimă nu mai sînt suficiente se pot adăuga unele elemente cu ajutorul cărora să fie descărcate și sudurile de prindere. Voalarea inimilor se împiedică prin introducerea unor rigidizări suplimentare, în general înclinate.

Barele grinzilor cu zăbrele se pot consolida adăugînd elemente noi, fără a se dezaxa, pe cît posibil, prinderea barei la noduri (fig. XXIX.2). În cazul barelor comprimate, elementele adăugate pot să nu fie prinse la noduri, dacă prinderea este suficientă pentru a transmite efortul de compresiune din bară.

Stîlpii se consolidează prin adăugarea unor profile sau table ; bazele stîlpilor se pot mări prin adăugarea de plăci și nervuri (fig. XXIX.3). În unele situații se poate realiza o consolidare satisfăcătoare prin îmbrăcarea stîlpului metalic cu beton, în care se introduc unele armături.

Grinzile de frînare cu zăbrele, devenite insuficiente, se întăresc în măsură, în general suficientă, dacă se transformă în grinzi cu inimă plină

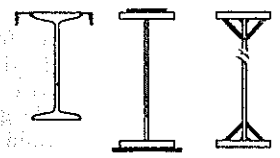


Fig. XXIX.1. Adăugarea unor elemente la grinzi.

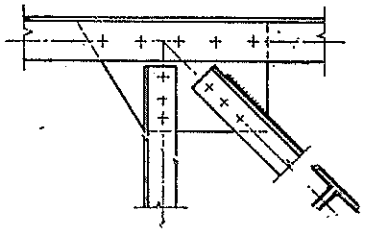


Fig. XXIX.2. Adăugare de elemente la barele grinzilor cu zăbrele.

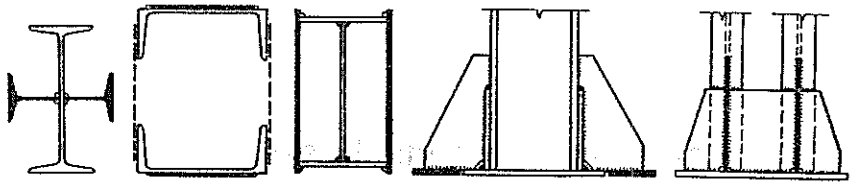


Fig. XXIX.3. Consolidarea stîlpilor.

prin sudarea plăcii pardoselii de tălpi, adăugîndu-se, dacă este necesar, unele elemente de întărire la tălpile grinzii care nu sînt formate din tălpile grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante.

b. Descărcarea părților de construcție cu defecte

Descărcarea elementelor unei construcții devenită insuficientă total sau parțial poate constitui un mijloc de întărire a acestora, care este preferat în locul altor soluții de consolidare mai complicate. Consola unui stîlp care susține o grindă pentru căile de rulare ale podurilor rulante într-o hală, devenită insuficientă în urma sporirii capacității podurilor rulante, poate fi consolidată direct cu destulă ușurință, întărindu-se secțiunea consolei și prinderea de stîlp ; dacă în urma sporirii capacității podurilor rulante se impune și consolidarea stîlpului, poate apărea avantajos să se descarce consola prin introducerea unui stîlp suplimentar sub consolă, care se leagă de stîlpul existent (fig. XXIX.4) ; în această soluție stîlpul existent continuă să suporte acțiunile orizontale transversale halei, dar este descărcat de momentele pe care i le transmitea consola, cînd nu exista stîlpul suplimentar. Prin stîlpul suplimentar acțiunile verticale de la grinda căii de rulare a podurilor rulante se transmit direct la fundație ; legăturile elastice ale stîlpului suplimentar cu stîlpul existent permit ca secțiunea stîlpului suplimentar să se dezvolte pe direcția grinzii căii de rulare.

O soluție de întărire a unei grinzi prin descărcarea unor secțiuni se poate face avantajos cu ajutorul unor tiranți în care se introduc eforturi de întindere în măsura necesară (fig. XXIX.5).

c. Modificarea sistemului static

Modificarea sistemului static constituie un mijloc de consolidare foarte des folosit, care oferă posibilități mari, în multe cazuri foarte simple și economice. Grinzile cu inimă plină pot fi consolidate prin introducerea unor contrafișe sau a unor reazeme intermediare (fig. XXIX.6). Un șir de grinzi simplu rezemate pe cîte o deschidere poate fi transformat într-o grindă continuă sau în grupuri de grinzi continue.

Grinzile macaz pot fi consolidate prin transformarea acestora în grinzi cu zăbrele cu contrafișe (fig. XXIX.7).

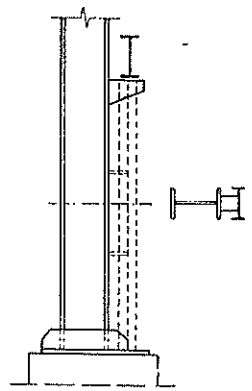


Fig. XXIX.4. Descărcarea directă a consolei unui stîlp.

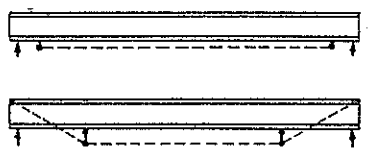


Fig. XXIX.5. Descărcare prin tiranți.

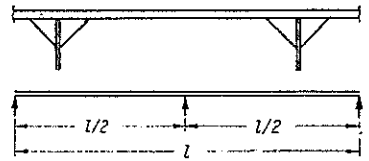


Fig. XXIX.6 Transformarea grinzilor în grinzi cu contrafișe sau continue.

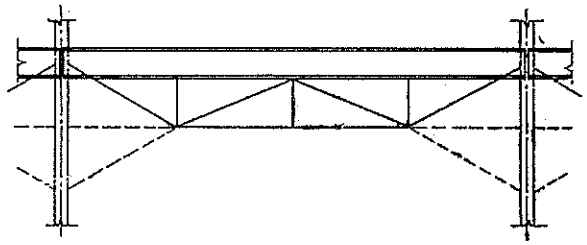
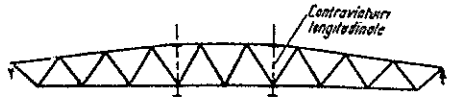


Fig. XXIX.7. Transformarea grinzilor macaz în grinzi cu contrafișe.

În cazul unei hale metalice cu acoperiș susținut de ferme s-a constatat că zăbrelele fermelor erau insuficient prinse prin sudură la noduri ; fermele susțineau două căi pentru cărucioare de transport, în dreptul cărora erau prevăzute contravîntuiri verticale longitudinale. Făcîndu-se unele completări contravîntuirilor, acestea au putut suporta încărcările ce le reveneau de la cîte două ferme alăturate, astfel că s-au putut evita consolidările foarte complicate a două din trei ferme ; s-au făcut completări și consolidări la numai o treime din fermele șarpantei acoperișului, ceea ce a rezultat mai avantajos (fig. XXIX.8).

Fig. XXIX.8. Consolidarea unor ferme prin descărcare pe contravîntuiri verticale.



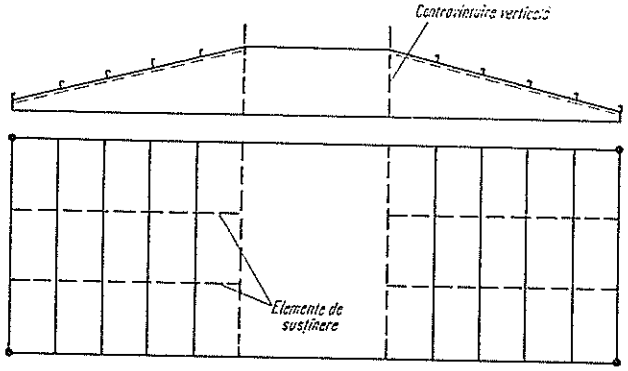


Fig. XXIX.9. Descărcarea unor pane pe elemente intermediare.

O soluție de consolidare prin schimbarea sistemului static la panele unei învelitori constă în transformarea acestora în pane continue. Panele acoperișului unei hale, cu deschiderea de 18 m, rezemau pe ferme de tipul din fig. XXIX.9; panele fiind subdimensionate, s-au introdus elemente de susținere la 6 m interval, rezemate pe grinda longitudinală de pe șirurile de stîlpi și pe contravîntuirile verticale prevăzute în dreptul reazemelor luminătoarelor.

O altă soluție, folosită cu succes în unele situații cînd din abateri la montaj rezultă la stîlpi devieri în diferite direcții, față de verticalitate constă în întărirea numai a unora din stîlpii de pe o linie transversală; la o hală cu mai multe deschideri, într-o astfel de situație, se recalculează eforturile în cadrele transversale ținînd seama de efectele abaterilor; pe baza solicitărilor, în urma analizei rezultatelor, se poate consolida numai o parte din stîlpi, ceea ce conduce la o altă distribuție a solicitărilor pe cadrul transversal. Aceasta conduce la lucrări de consolidare mai reduse, putînd fi întăriți numai o parte din stîlpii halei.

Folosirea conlucrării spațiale permite rezolvări interesante, simple și puțin costisitoare; în cazul cînd conlucrarea nu a fost luată în considerare la proiectare, diferite contravîntuiri la nivelul acoperișului, al căilor grinzilor de rulare ale podurilor rulante sau pe șirurile de stîlpi pot fi întărite, mai ales în zona prinderilor, și aduse în situația de a permite unele redistribuiri de solicitări favorabile scopului urmărit.

Și în cazul cînd la proiectare au fost luate în consolidare unele contravîntuiri pentru a se obține efecte de conlucrare, o examinare a situației poate conduce la unele soluții de consolidare simple și cu cheltuieli mici, cu unele întăriri sau completări.

O asemenea procedare apare indicată cînd hala sau unele elemente ale acesteia prezintă deformații supărătoare pentru exploatare.

XXX Luarea în considerare a deformațiilor plastice

1. Generalități

Calculul construcțiilor metalice în domeniul elastic admite că în elementele construcției nu apar eforturi cu valori mai mari decît limita de curgere a oțelului dacă nu sînt depășite valorile de calcul ale acțiunilor, adică valorile acțiunilor normate multiplicate cu coeficienții de variație ai acțiunilor; cînd la dimensionare se folosește metoda rezistențelor admisibile, eforturile unitare calculate sub acțiunea încărcărilor normate rămîn sub valoarea rezistențelor admisibile, care este limita de curgere minimă a oțelului, împărțită cu un coeficient de siguranță.

Se cunoaște de multă vreme că în anumite cazuri apar în elementele construcției metalice eforturi care produc intrarea în curgere a materialului pe unele porțiuni, în general reduse; asemenea situații se întîlnesc la gusee sau piese în jurul unor găuri, cum sînt găurile niturilor și șuruburilor, la elementele cu unele crestături sau variații bruște, unde apar vîrfuri mari de eforturi etc. În general, comportarea construcțiilor și în aceste cazuri este bună, deoarece, datorită proprietăților plastice ale oțelurilor folosite la construcțiile metalice, se produce o redistribuire a eforturilor, ceea ce face ca acolo unde s-a atins limita de curgere valoarea eforturilor să nu mai crească, dacă încărcările cresc; aceasta se întîmplă însă numai atunci cînd, din diferite cauze, nu este împiedicată dezvoltarea deformațiilor plastice.

Calculul construcțiilor la stările limită, în țara noastră și în alte țări, se face de asemenea în domeniul elastic.

Calculul structurilor metalice în domeniul plastic admite ca limită a capacității portante a unei structuri, pe aceea care corespunde cedării structurii sub acțiunea unui sistem de încărcări suportate de structură; în momentul cedării s-a format un număr de articulații plastice, suficient pentru a transforma structura static nedeterminată într-un mecanism.

Teoretic se poate stabili gruparea de încărcări posibilă cea mai dezavantajoasă la care va ceda structura; pe baza acestei grupări de încărcări, cu un grad de siguranță acceptat, se determină eforturile pe baza cărora se face dimensionarea elementelor construcției; în unele norme, pentru diferite cazuri de solicitări, se admit coeficienții 1,68, 1,49 și 1,12, care în fond exprimă raportul dintre încărcarea limită la care se produce cedarea structurii și încărcarea normată admisă în exploatare.

Elementele structurii în momentul cedării sînt solicitate în domeniul plastic; unele articulații plastice apar înainte de a se produce cedarea, la valori ale încărcărilor mai mici decît cele corespunzătoare cedării. Este posibil

ca sub încărcările din timpul exploatării în unele elemente ale structurii să fie atinsă limita de curgere a oțelului și să apară deformații plastice.

Calculul în domeniul plastic al structurilor metalice static nedeterminate în unele cazuri se face ușor, în altele însă este mai complicat.

Calculul plastic al construcțiilor face de cîțiva ani obiectul a numeroase cercetări teoretice și experimentale, ajungîndu-se la rezultate care, în multe cazuri, oferă garanția necesară aplicării lor în practică ; sînt însă situații cînd aplicarea calculelor în domeniul plastic se face cu destule greutăți, cerînd uneori în practică un volum de muncă mare ; și în alte cazuri, folosirea calculului plastic nu oferă încă suficientă siguranță, în special la elemente de construcții supuse unor acțiuni variabile, a unor construcții cu regim de lucru greu și altele.

Procesul de desfășurare a calculului structurilor în domeniul plastic se face în cîteva faze. Se pleacă în general de la o structură, cu o formă geometrică și cu dimensiuni prestabilite, deci de la început se acceptă o schemă constructivă, care urmează să fie verificată și eventual corectată. Se alege materialul (marcă, clasă etc.) și se precizează valorile acțiunilor pe care le va avea de suportat structura.

În domeniul plastic nu se mai aplică suprapunerea efectelor și deci nu se mai pot efectua calculele separat pentru fiecare încărcare și însuma apoi rezultatele finale ; este deci necesar să se efectueze calculele pe baza unor grupe de acțiuni ; ca urmare, de la început trebuie stabilite diferite grupări de acțiuni care pot conduce la cedare și trebuie verificat care este cea mai dezavantajoasă dintre acestea. Diferite norme pentru calculul plastic al structurilor dau indicații asupra modului cum trebuie procedat în practică.

Variația încărcărilor dintr-o grupare nu este aceeași, coeficienții de variație ai încărcărilor fiind diferiți, și deci coeficientul de variație al întregii grupări nu este unic în general și nici pe intervale de variație. Unele din acțiuni au un caracter static, altele sînt variabile, oscilante, alternante, ceea ce face ca determinarea situației de cedare să fie mai complicată.

Secțiunile elementelor structurii diferă în cele mai multe cazuri, în general pe ansamblul structurii fiind elemente cu secțiuni variate ca formă și mărime ; o variație poate fi întîlnită chiar și pe parcursul aceluiași element ; în unele secțiuni ale structurii pot acționa numai momente, iar în altele momente M, forțe axiale N și forțe tăietoare T, la determinarea situației de cedare urmînd să se țină seama de aceste moduri de solicitare, ceea ce face ca desfășurarea calculului să fie mai complexă.

Un proiectant cu suficientă experiență va putea adopta o schemă constructivă care să conducă la o soluție bună din punct de vedere al siguranței și din punct de vedere economic ; poate fi însă necesar să se studieze mai multe variante. Există posibilitatea de a se face calcule de optimizare, care însă în general sînt complicate.

Concepția constructivă are la bază aceleași principii ca în proiectarea care utilizează calculul în domeniul elastic cu unele diferențe specifice construcțiilor la care se admite dezvoltarea deformațiilor plastice.

Cu toate progresele realizate în domeniul calculului plastic al structurilor, folosirea acestui mod de calcul la proiectarea construcțiilor metalice este încă limitată la unele tipuri de construcții, supuse la unele categorii de încărcări.

Restricțiile impuse de diferite norme care se referă la calculul plastic al construcțiilor metalice sînt în general mai severe în cazul construcțiilor metalice industriale.

Se admite calculul plastic de obicei la construcțiile cu un singur nivel, alcătuite din bare cu secțiuni pline, în dublu T sau în cheson ; la construcțiile cu mai multe niveluri se acceptă numai dacă stabilitatea este asigurată prin contravîntuiri. Acțiunile la care este supusă construcția trebuie să aibă un caracter static sau pronunțat static. Nu se acceptă calculul plastic la elementele de construcții supuse direct unor acțiuni variabile sau dinamice, cum sînt de exemplu grinzile căilor de rulare ale podurilor rulante.

Normele dau și unele indicații privitoare la poziția articulațiilor plastice, la măsuri pentru asigurarea stabilității locale și generale a barelor comprimate ; alte măsuri constructive sînt prevăzute pentru a se evita ca structura în ansamblu sau local să cedeze prin pierderea stabilității înainte de formarea mecanismului de cedare plastică.

Proiectarea construcțiilor, luînd în considerare dezvoltarea deformațiilor plastice și admițînd pentru determinarea eforturilor cedarea plastică, prezintă în multe situații avantaje importante.

Construcțiile metalice static nedeterminate, calculate în domeniul elastic, au rezerve de rezistență, datorită în primul rînd principiului ce stă la baza acestui calcul, ca în nici o secțiune a structurii să nu se atingă limita de curgere ; între încărcările care fac să apară limita de curgere a oțelului într-o secțiune oarecare și acelea cărora le corespunde cedarea plastică a structurii există uneori o diferență apreciabilă, care constituie ceea ce se cheamă rezerva plastică a structurii. Construcțiile metalice calculate și proiectate admițînd comportarea în domeniul plastic sînt mai economice decît cele calculate în domeniul elastic. Rezervele plastice sînt specifice structurilor metalice static nedeterminate.

Structurile metalice pot fi dimensionate în domeniul plastic impunînd de la început ca unele articulații plastice să se dezvolte în anumite locuri ale structurii ; aceasta se poate face alegînd o schemă constructivă corespunzătoare. În unele cazuri poate fi avantajos să se folosească o parte din rezerva plastică, admițînd apariția numai a unui număr oarecare din articulațiile corespunzătoare cedării.

Cu toate avantajele pe care le prezintă folosirea calculului plastic la proiectarea construcțiilor metalice, metodele de calcul în domeniul plastic nu pot înlocui încă metodele de calcul în domeniul elastic, unele din principalele motive fiind arătate mai înainte ; calculul plastic al structurilor poate însă fi folosit cu succes, acolo unde acceptarea acestuia este posibilă ; sînt multe situații și categorii de construcții la care aplicarea calculului plastic este posibilă și avantajoasă.

Folosirea calculului în domeniul plastic poate prezenta interes și aduce avantaje uneori însemnate la examinarea și stabilirea soluțiilor de remediere a defectelor și la consolidarea unor elemente ale construcțiilor metalice.

2. Stabilirea necesităților de consolidare admițînd deformații plastice

Admițind dezvoltarea unor deformații plastice, soluțiile de remediere a unor defecte, în general, sînt altele decît în cazul menținerii riguroase a comportării elastice.

După normele actuale de calcul apariția unor deformații plastice în secțiunea unor bare constituie un defect, deși în unele situații este posibil să nu aibe o influență importantă asupra siguranței. În multe cazuri, admiterea unor deformații plastice permite o remediere a defectelor mai simplă și mai ușor de executat. Admiterea unor deformații plastice modifică modul de analiză a consecințelor pe care le va avea apariția unor defecte. Apariția unor deformații plastice și chiar a unei articulații plastice într-un element al unei structuri static nedeterminate metalice poate fi acceptată, în multe cazuri fără nici un inconvenient ; în alte situații apariția unei articulații plastice poate avea influențe defavorabile în alte secțiuni sau elemente ale structurii, decît acolo unde s-a produs.

Cunoscînd situația defectelor, este necesar mai întîi să se facă o verificare prin calcul, admițind apariția uneia sau mai multor articulații plastice ; verificarea se va extinde pe întreaga porțiune din structură care ar putea fi influențată de deformațiile plastice admise.

Pe lîngă altele, acest mod de a proceda constituie o situație în care calculul în domeniul plastic reprezintă un instrument util și avantajos ; calculul în domeniul plastic, folosit în mod rațional, completează calculul în domeniul elastic.

Pentru efectuarea unor remedieri sau consolidări, admițind dezvoltarea unor deformații plastice, sînt necesare o serie de date, între care :

— datele menționate la cap. XXIX, pct. 1, b ;

— datele pentru stabilirea calităților plastice ale oțelului din care sînt executate elementele construcției influențate de admiterea deformațiilor plastice : compoziția chimică, proba de îndoire, tendința de îmbătrînire și de rupere fragilă ;

— stadiul de încărcare la care încep să se dezvolte deformații plastice.

În total sau parțial, asemenea date, pe lîngă cunoașterea defecțiunilor apărute, sînt necesare pentru verificarea prin calcul și pentru stabilirea soluției de remediere sau de consolidare.

3. Posibilități de consolidare

a. Verificarea cu admiterea deformațiilor plastice nu impune lucrări de consolidare

O asemenea verificare este prima operație care trebuie făcută. Modul de verificare și rezultatele care se obțin depind de situația locală. În cele ce urmează se dau unele exemple.

La grinzi continue pe mai multe reazeme, cum sînt de exemplu panele de acoperiș, care nu au înnădiri pe reazeme, se constată apariția unor deformații plastice pe unele reazeme ; dacă o verificare a grinzii egalînd momentele de pe reazeme cu cele de pe deschideri, ceea ce are la bază acceptarea apariției unor articulații plastice, se încadrează, cu momentele rezultate din această egalare, în condițiile de siguranță admise la proiectare, adică nu sînt depășite rezistențele admisibile sau de calcul, nu este necesară o consolidare.

În alte situații se constată unele deficiențe la unul din elementele construcției ; din verificare poate rezulta că apariția în alte elemente a unor articulații plastice, ca urmare a cedării barei cu deficiențe, nu reduce gradul de siguranță al construcției. Într-o grindă cu zăbrele cu tălpi paralele (fig.XXX.1) diagonala *6—9* comprimată și-a pierdut stabilitatea ; grinda, deși încărcată, nu a suferit deteriorări. Tălpile grinzii cu zăbrele, avînd secțiunile constante pe toată deschiderea grinzii, verificate în ipoteza că în panoul *6—8* nu există diagonală, puteau rezista prin încovoiere, în secțiunile *6*, *7*, *8* și *9* dezvoltîndu-se unele deformații plastice. Într-o asemenea situație, dacă într-un panou al grinzii cu zăbrele n-ar exista o diagonală și tălpile pot fi considerate bare continue cel puțin pe cîte un panou de o parte și de alta a panoului fără diagonală, cînd secțiunile tălpilor sînt suficient dezvoltate, pot suporta și solicitările date de forța tăietoare din panoul fără diagonală. Verificarea se face considerînd că la mijlocul tălpilor din panoul fără diagonale

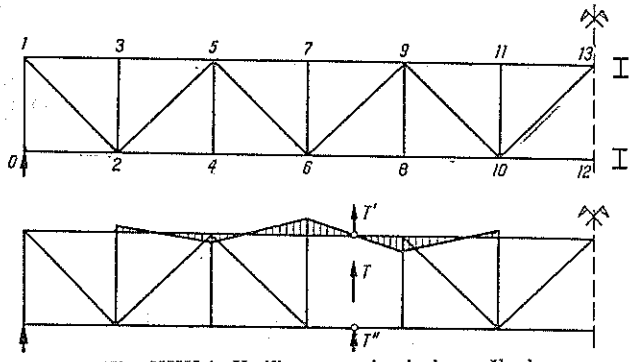


Fig. XXX.1. Verificarea unei grinzi cu zăbrele.

există puncte de inflexiune ; forța tăietoare din panou, trecînd prin aceste puncte, se distribuie tălpilor proporțional cu secțiunea lor. În nodurile vecine apar momentele $T'a/2$ și $T''a/2$. S-a verificat starea de solicitare a grinzii în panoul respectiv și în cele vecine pentru o încărcare 1,60 q, aici q fiind încărcarea uniform distribuită la care a fost dimensionată grinda prin metoda rezistențelor admisibile și 1,60 coeficientul de siguranță în raport cu limita de curgere.

Eforturile unitare în nodurile *7* și *9*, calculate cu eforturile axiale S din tălpi, ca bare ale grinzii cu zăbrele și la momentul $T'a/2$, au fost sub limita de curgere ; într-o asemenea situație grinda cu zăbrele rezistă în condiții de siguranță normală fără diagonala din panoul verificat.

b. Verificarea cu admiterea deformațiilor plastice impune lucrări de consolidare

În urma verificării prin calcul cu luare în considerare a deformațiilor plastice pot rezulta necesare unele consolidări.

O grindă cu secțiune plină continuă este supusă la încărcări statice ; datorită creșterii unor încărcări, eforturile unitare ajung mai mari decît rezistențele admise la dimensionare. Se cunoaște secțiunea grinzii și se poate stabili încărcarea la care se va produce cedarea plastică a grinzii ; în cazul cînd aceasta este acceptabilă din punct de vedere al siguranței, nu este necesară consolidarea grinzii. În caz contrar, se pot întări unele porțiuni de grindă, de regulă pe reazeme unde apar primele articulații, astfel ca cedarea plastică a grinzii întărite să aibă loc la o încărcare cel puțin egală cu cea admisă.

O parte din stîlpii unei hale metalice au fost montați forțat, introducîndu-se eforturi suplimentare în diferite secțiuni. Sub acțiunea încărcărilor de exploatare, din cauza acestor eforturi suplimentare, în porțiunea stîlpului de deasupra grinzilor căilor de rulare ale podurilor rulante se ajungea la eforturi unitare egale cu limita de curgere. În situația din momentul examinării, din eforturile suplimentare rezultate din montaj și din încărcările permanente existente, eforturile unitare erau mult peste rezistențele admisibile. Pentru consolidare s-au adăugat elementele *1*, acceptîndu-se în secțiunea existentă a stîlpului eforturi unitare pînă la limita de curgere (fig. XXX.2). Eforturile unitare în elementele adăugate s-au admis conform metodei rezistențelor admisibile.

În general, dacă la construcția unei hale o parte din structura acesteia devine insuficientă din cauze oarecare, cum ar fi unele tasări sau sporirea unor încărcări (fig. XXX.3), se poate face o verificare numai a acestei porțiuni prin calcul plastic. Ar fi de exemplu cazul porțiunii *1—3* a structurii din fig. XXX.3.

Elementele care compun structura parțială pot fi întărite local astfel ca cedarea plastică să se producă la valori ale acțiunilor acceptabile pentru exploatarea părții respective din construcție cu siguranța necesară, determinate prin calculul în domeniul plastic ; poate fi cazul să se analizeze și influența asupra stîlpului *3*, care va rezulta din comportarea porțiunii *1—3* ; pe stîlpul *3* nu trebuie să se producă o articulație plastică.

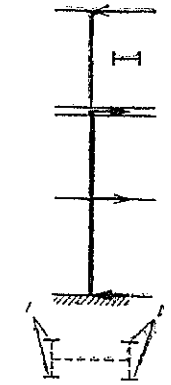


Fig. XXX.2. Consolidarea unui stîlp.

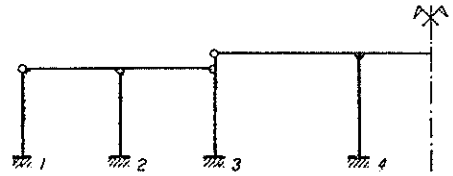


Fig. XXX.3. Cedare plastică parțială.

Aceasta poate conduce sau nu la unele consolidări ; aceste consolidări vor fi însă, în general, mai reduse decît în cazul cînd se impune construcției o comportare în domeniul elastic.

Prinderile, înnădirile și nodurile unei structuri metalice se verifică prin metode de calcul în domeniul elastic. În general, în aceste zone ale unei construcții dezvoltarea deformațiilor plastice poate fi împiedicată din diferite cauze și deci nu este sigură apariția aici a unei articulații plastice.

BIBLIOGRAFIE

1. Baker, J. F., Horne, M. R. și Heyman, J. *The Steel Skeleton II, Plastic behaviour and desing.* Cambridge, The University Press, 1956.
2. Baldin, V. A. *Calculul construcțiilor prin metoda stărilor limită* (trad. din l. rusă). București, Editura M.C.I.M.C., 1953.
3. Baldin, V. A. *Issledovania po stalnîm construcțiam.* Moscova, Izdatelstvo Literaturi po stroitelstvu i arhitecture, 1956.
4. Bălan, Șt. și Petcu, V. *Calculul structurilor în domeniul plastic. Momente independente.* București, Editura Academiei R.S.R., 1976.
5. Beleș, A. A. și Voinea, R. *Rezistența materialelor.* Vol. II, București, Editura tehnică, 1958.
6. Beleș, A. și Ifrim, M. *Elemente de seismologie inginerească.* București, Editura tehnică, 1962.
7. Bródka, J. și Lubinski, M. *Construcții metalice ușoare* (trad. din l. polonă). București, Editura tehnică, 1975.
8. Coleș V. și Georgescu, Dr. *Montarea construcțiilor metalice.* București, Editura tehnică, 1965.
9. Ferry Borges, J și Castanheta, M. *Siguranța construcțiilor* (trad. din l. engleză) București, Editura tehnică, 1973.

10. Gheorghiu, Al., *Statica construcțiilor*. Vol. 1, 2, București, Editura tehnică, 1960, 1965.
11. Gheorghiu, Al. *Statica, Stabilitatea și Dinamica construcțiilor*. Ed. a II-a, București, Editura didactică și pedagogică, 1974.
12. Gheorghiu, Al., *Concepții moderne în calculul structurilor*, București, Editura tehnică, 1975.
13. Girkmann, K., *Flächentragwerke*. Viena, Julius Springer-Verlag, 1954.
14. Gregor, A. *Der Praktische Stahlbau*. Berlin, V.E.B. Verlag, Technik, 1958.
15. Hart, Fr., *Skelettbauten*. München, Verlag Georg D. W. Callwey, 1956.
16. Hawranek, A. *Der Stahlskelettbau*. Berlin, Iulius Springer-Verlag, 1931.
17. Henn, W. *Industriebau, Internationale Beispiele*, München, Verlag Georg D. W. Callwey, 1962.
18. Kollbrunnen, C. F. *Knicken, Biegedrillknicken, Kippen*, ed. II-a, Berlin, Springer-Verlag, 1961.
19. Kollbrunner, C. F. *Neuzeitliche Stahlochbau*. Zürich, Verlag Leeman, 1957.
20. Korányi, I. *Acélszerkezetek*, Budapest, Tankönyvkiadó, 1960.
21. Makowski, S. Z. *Constructions spatiales en acier*. Bruxelles, Centre belgo-luxembourgeois d'information de l'Acier, 1964.
22. Masi, F. *La Practica delle Costruzioni metalliche*. Milano, Ulrico Hoepli, 1955.
23. Massonnet, Ch. și Save, M. *Calcul plastique des constructions*, I. Bruxelles, Centre belgo-luxembourgeois d'information de l'Acier, 1967.
24. Mateescu D. *Construcții metalice speciale*. București, Editura tehnică, 1962.
25. Mazilu, P. *Statica construcțiilor*, Vol. 1, 2, București, Editura tehnică, 1959.
26. Neumann, A. *Schweisstechnisches Handbuch für Konstrukteure, Grundlagen*. Berlin, V.E.B. Verlag Technik, 1960.
27. Neumann A. *Schwelsstechnisches Handbuch für Konstrukteure, Stahlbau*. Berlin, V.E.B. Verlag Technik, 1960.
28. Niculescu, D., Preda, I. și Pătrânichе, N. *Construcții metalice din aluminiu*. București, Editura tehnică, 1966.
29. Popescu, V. *Construcții metalice industriale*. București, Editura tehnică, 1961.
30. Popescu, V. *Construcții metalice*. București, Editura tehnică, 1963.
31. Popescu, V. *Construcții metalice*. Ed. a III-a, București, Editura tehnică, 1975.
32. Popescu, V. *Construcții industriale*. București, Editura didactică și pedagogică, 1974.
33. Rjanițin, A. P. *Rascet soorujeni c ucetom plasticeskih svoistv materialov*. Moscova, Gosstroiizdat, 1954.
34. Salomov, N. P. *Construcția secțiilor industriale cu destinație variabilă* (trad. din l. rusă), București, I.D.T.
35. Sokolov, G. A. *Opori linii peredaci*. Moscova, 1961.
36. Stabilimi, L. *La plasticita*. Milano, Libreria editrice Politecnica Tamburini, 1961.
37. Streleţki, N. S. *Metalliceskie konstrukții*. Moscova, Gosstroiizdat, 1961.
38. Streleţki, N. S. *Rabota stali v stroitelnih constructiah*. Moscova, Gosstroiizdat, 1956.
39. Sturzenegger, P. *Maste und Türme in Stahl*. Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn, 1929.
40. Stussi, Fr. *Entwurf und Berechnung von Stahlbauten I*. Berlin, 1958.
41. * * * *Construire en acier 1*. Zürich, Chambre Suisse de la Construction Métallique, 1956.
42. * * * *Construire en acier 2*. Zürich, Chambre Suisse de la Construction Métallique, 1960.
43. * * * *Notes techniques sur les constructions métalliques*. Bruxelles. C.E.C.M.
44. * * * *Stahlbau, Ein handbuch für Studium und Praxis*, 1, 2. Köln, Deutschen Stahlbau Verband, 1964.
45. * * * *Modern Steel Construction in Europe*. Bouwcentrum-Rotterdam.
46. * * * *Stahlbautagung der Technischen Hochschule*. Dresda, 1959.
47. * * * *Normativ conditional pentru calculul construcțiilor la stările limită*. Partea a III-a. București, Editura tehnică, 1963.
48. *Revista construcțiilor și a materialelor de construcții*.
49. *Acider — Stahl-Steel*.
50. *Promîşlennoe stroitelstvo*.
51. *Der Stahlbau*.